



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TRABAJO FINAL DE GRADO

Grado en Ingeniería Eléctrica

AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE UN CENTRO DE TRANSFORMACIÓN DE CLIENTE



Memoria y Anexos

Autor: Antoni Marqués Pascual

Director: Juan Morón Romera

Convocatoria: Junio 2019

Resumen

En el presente trabajo se documenta el proceso de automatización del Centro de Transformación de cliente didáctico del laboratorio de instalaciones eléctricas de la EEBE.

Para ello, se estudia y documenta el funcionamiento y la composición de las celdas de Media Tensión. A partir de ahí, se define el Centro de Transformación en unos esquemas eléctricos más detallados que los existentes, y con eso, se plantea la automatización del mismo.

Se empieza por una automatización aparentemente más sencilla, la cual solo contempla un cuadro de mando con diversos pulsadores para realizar las maniobras oportunas en las celdas; pero, en realidad, es la parte más compleja del trabajo porque en ella se confeccionan las colecciones de esquemas funcionales y de conexonado del Centro de Transformación y en estas se define al completo la automatización.

Con la automatización realizada, esta se amplía con la implementación de un autómatas y una pantalla táctil que permiten monitorizar el Centro de Transformación y realizar maniobras a distancia de forma remota en las celdas de línea y protección.

Toda la automatización es implementada en el Centro de Transformación de cliente didáctico del laboratorio de instalaciones eléctricas de alta y baja tensión mejorando su seguridad, flexibilidad y comunicación con el exterior.

Resum

En el present treball es documenta el procés d'automatització del Centre de Transformació de client didàctic del laboratori d'instal·lacions elèctriques de la EEBE.

Per a això, s'estudia i documenta el funcionament i la composició de les cel·les de Mitja Tensió. A partir d'aquí, es defineix el Centre de Transformació en uns esquemes elèctrics més detallats que els existents, i amb això, es planteja l'automatització del mateix.

Es comença per una automatització aparentment més senzilla, la qual només contempla un quadre de comandament amb diversos pulsadors per a realitzar les maniobres oportunes en les cel·les; però, en realitat, és la part més complexa del treball perquè en ella es confeccionen les col·leccions d'esquemes funcionals i de connexió del Centre de Transformació i en aquestes es defineix al complet l'automatització.

Amb l'automatització realitzada, aquesta s'amplia amb la implementació d'un autòmat i una pantalla tàctil que permeten monitoritzar el Centre de Transformació i realitzar maniobres a distància de forma remota a les cel·les de línia i protecció.

Tota l'automatització és implementada al Centre de Transformació de client didàctic del laboratori d'instal·lacions elèctriques d'alta i baixa tensió millorant la seva seguretat, flexibilitat i comunicació amb l'exterior.

Abstract

In this project, the automation process of the didactic client transformer station of the EEBE electrical installations laboratory is documented.

To do this, the operation and composition of the Medium Voltage cells are studied and documented. From there, the transformer station is defined in more detailed electrical schemas than the existing ones, and with that, automation is considered.

It begins with a seemingly simpler automation, which only includes a control panel with various buttons to perform the appropriate manoeuvres in the cells. In fact, it is the most complex part of this project because in it the collections of functional and connection diagrams of the transformer station are made and in these the automation is defined.

With the automation carried out, this is extended with the implementation of an automaton and a touch screen that allow monitoring the transformer station and remotely manoeuvre in the line and protection cells.

All the automation is implemented in the EEBE's educational client transformer station, improving his security, flexibility and communication with the outside.



Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a mi tutor Juan Morón Romera por toda la dedicación prestada al proyecto y por brindarme su ayuda tanto a la hora establecer unos objetivos claros, como en la aportación de ideas y consejos para la implementación en el laboratorio y por los consejos dados en la elaboración de esta memoria.

Agradecer especialmente a Jordi Vilanova Rodríguez, el técnico responsable del laboratorio de instalaciones eléctricas de alta y baja tensión los servicios prestados cuando han sido requeridos y la total disponibilidad para presentarle mis demandas de material o peticiones de ayuda. Sin su ayuda hubiera sido muy difícil realizar algunas tareas, bien sea por la falta de ayuda o por la falta de material.

También agradecer a mi compañero y amigo Miquel por su indispensable ayuda en varias ocasiones en el laboratorio, donde según qué trabajos no los puede realizar una sola persona.

Por último, gracias a mi familia, amigos y a mis compañeros de trabajo por acompañarme durante esta etapa de mi vida, sobre todo por su paciencia para conmigo estos últimos meses tan intensos en los que, con la combinación de mi trabajo y la realización de este proyecto, solo sabía hablar de ingeniería eléctrica.





Glosario

A: Amperio

ACP: Armario de Control y Protección

AENOR: Asociación Española de Normalización y Certificación

AT: Alta Tensión

BT: Baja Tensión

CA: Corriente Alterna

CC: Corriente Continua

CL1: Celda de Línea 1

CL2: Celda de Línea 2

CCM: Celda de Contaje Y Medida

CML: Cuadro de Mando Local

CSP: Celda de Seccionamiento y Protección

CSR: Celda de Seccionamiento y Remonte

CT: Centro de Transformación

CTR: Celda de Transformación o Celda de Trafo

EEBE: Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

HMI: Human-Machine-Interface. Es una interfaz hombre-máquina

ITC-BT n°...: Instrucción Técnica Complementaria del REBT, número...

ITC-RAT n°...: Instrucción Técnica Complementaria del RAT, número...

MT: Media Tensión

NTE-IET: Norma Tecnológica de la Edificación - Instalaciones de Electricidad. Centros de Transformación

RAT: Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas y Centros de Transformación

REBT: Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión

s: Segundo



SF₆: Hexafluoruro de Azufre

TI: Transformador de Intensidad (para medida)

Trafo: Transformador

TT: Transformador de Tensión (para medida)

UNE: Una Norma Española. Normas AENOR

UNE-EN-ISO: Una Norma Española - European Norm - International Standardization Organization

UPC: Universidad Politècnica de Catalunya

V: Voltio

W: Vatio

Índice

RESUMEN	I
RESUM	II
ABSTRACT	III
AGRADECIMIENTOS	V
GLOSARIO	VII
1. PREFACIO	1
1.2. Origen del Trabajo.....	1
1.3. Motivación.....	1
1.4. Requerimientos Previos.....	1
2. INTRODUCCIÓN	3
2.1. Objetivos del Trabajo	4
2.2. Alcance del Trabajo	4
3. LOS CENTROS DE TRANSFORMACIÓN	5
3.1. Tensiones de Trabajo	5
3.2. Definición de Centro de Transformación.....	6
3.3. Clasificación de los Centros de Transformación.....	7
3.3.1. Clasificación Según su Alimentación	7
3.3.2. Clasificación Según su Emplazamiento	10
3.3.3. Clasificación Según la Acometida	10
3.3.4. Clasificación Según su Obra Civil	11
3.3.5. Clasificación Según su Localización Geográfica	12
3.3.6. Clasificación Según su Propiedad	12
3.4. Constitución de un Centro de Transformación	13
3.4.1. Edificio	14
3.4.2. Celdas de MT	14
3.4.3. Cuadro de BT	18
3.4.4. Esquema Eléctrico de MT del CT	18

3.5.	Aparamenta de Maniobra y Protección en MT	20
3.5.1.	Características Comunes de la Aparamenta de Maniobra y Protección en MT ..	20
3.5.2.	Maniobras Posibles con los Elementos de Maniobra y Protección	21
3.5.3.	Protecciones en MT en el CT	21
3.6.	Maniobras en los CT	24
3.7.	Hexafluoruro de Azufre (SF ₆)	25
4.	DOCUMENTACIÓN DEL CT DIDÁCTICO DE LA EEBE	27
4.1.	Celdas de Línea	30
4.1.1.	Componentes Interiores	31
4.1.2.	Enclavamientos	36
4.2.	Celda de Seccionamiento y Remonte	41
4.2.1.	Componentes Interiores	41
4.3.	Celda de Protección por Interruptor Automático	43
4.3.1.	Componentes Interiores	45
4.3.2.	Enclavamientos	48
4.3.3.	SEPAM (Relé de Protección)	49
4.4.	Celda de Medida	49
4.4.1.	Transformadores de Intensidad (TI)	51
4.4.2.	Transformadores de Tensión (TT)	52
4.5.	Celda de Transformación	53
4.5.1.	La Celda	54
4.5.2.	El Transformador	54
4.5.3.	Tensiones	55
4.5.4.	Partes Exteriores	55
4.5.5.	Grupo de Conexión	56
4.5.6.	Protecciones Propias del Transformador	56
5.	AUTOMATIZACIÓN DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN	59
5.1.	Señales y Maniobras a Automatizar	59
5.1.1.	Celdas de Línea	59
5.1.2.	Celda de Seccionamiento y Remonte	60
5.1.3.	Celda de Seccionamiento y Protección	60
5.1.4.	Celda de Transformación	61

5.2.	Tipos de Esquemas.....	62
5.2.1.	Esquemas Funcionales.....	62
5.2.2.	Esquemas de Conexionado	62
5.2.3.	Esquemas de Implantación o Explicativos de Emplazamiento	63
5.3.	Proceso de Automatización	63
5.3.1.	Definición de la Automatización	63
5.3.2.	Realización de los Esquemas	65
6.	IMPLEMENTACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN	67
6.1.	Cableado de las Celdas	67
6.2.	Instalación del Cuadro de Mando Local (CML).....	68
6.3.	Seguridad en la Celda de Transformación	70
6.4.	Funcionamiento	71
7.	CONTROL REMOTO	73
7.1.	El Autómata	73
7.1.1.	Software de Programación.....	74
7.1.2.	Limitaciones del Sistema	75
7.2.	Programación del Autómata	75
7.2.1.	Entradas y Salidas.....	76
7.2.2.	Definición de Variables	76
7.2.3.	Programa	77
8.	DISEÑO DEL CONTROL POR PANTALLA TÁCTIL	79
8.1.	La Pantalla (Dispositivo HMI).....	79
8.2.	Software de Programación	80
8.3.	Programación del Dispositivo.....	81
8.4.	Pantallas.....	82
8.4.1.	Pantalla Principal.....	83
8.4.2.	Sinóptico	83
8.4.3.	Maniobras.....	84
8.4.4.	Alarmas	85
8.4.5.	Disparos	86
8.4.6.	Celda de Transformación.....	86

8.4.7. Pantalla de Estado.....	87
9. IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL REMOTO	89
10. ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL	91
CONCLUSIONES	93
PRESUPUESTO	95
Mano de Obra	95
Material.....	96
Licencias de Software.....	97
Presupuesto Final	98
BIBLIOGRAFÍA	99
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	100
ÍNDICE DE TABLAS	103
ANEXO A: PLANOS DE COLECCIONES DE ESQUEMAS ELÉCTRICOS	105
A1. Colecciones de Esquemas Funcionales	106
A1.1. F000 - Unifilar y Frontal CT	106
A1.1. F001 - Funcional	110
A2. Colecciones de Esquemas de Conexionado (Rojo).....	123
A2.1. CACP - Conexionado del Armario de Control y Protección (Rojo).....	123
A2.2. CCML - Conexionado del Cuadro de Mando Local (Rojo).....	131
A2.3. CCMT - Conexionado de las Celdas de Media Tensión (Rojo)	135
A3. Colecciones de Esquemas de Conexionado.....	142
A3.1. CACP - Conexionado del Armario de Control y Protección.....	142
A3.2. CCML - Conexionado del Cuadro de Mando Local	150
A3.3. CCMT - Conexionado de las Celdas de Media Tensión	154
ANEXO B: PROGRAMA DEL AUTÓMATA.....	161

1. Prefacio

1.2. Origen del Trabajo

Es una vez cursadas las asignaturas de mi titulación y al estar trabajando como técnico de control de subestaciones, cuando considero que es una buena idea seguir formándome en el campo de la Media Tensión.

En ese momento y sabiendo de que Juan Morón tenía previsto un proyecto para automatizar el Centro de Transformación del laboratorio, se pactaron las pautas del proyecto y los objetivos de este.

1.3. Motivación

La motivación principal para hacer este proyecto es la oportunidad de ampliar mi conocimiento en temas muy diversos, los cuales van desde la Media Tensión hasta la programación de autómatas.

El reto es averiguar cómo funcionan las celdas de Media Tensión (MT) de un Centro de Transformación (CT) y a partir de allí implementar una serie de mejoras y automatizaciones en él. Es un tema muy completo e interesante, sobre todo para un ingeniero eléctrico.

Por otro lado, el hecho de poder dejar un legado en la EEBE es una motivación añadida, ya que las prácticas de varias asignaturas se podrán modificar de cara al próximo curso y adaptarlas a la mejora del CT.

De este modo pretendo acabar mi formación con un conocimiento extra sobre centros de transformación y sobre automatización.

1.4. Requerimientos Previos

Para la realización de este proyecto es necesario tener conocimiento en las instalaciones de Media y Alta Tensión. Asimismo, este trabajo requiere de conocimientos teóricos y sobre todo prácticos en instalaciones eléctricas, automatización y programación de autómatas y pantallas táctiles.



2. Introducció

El sistema de suministro eléctrico es el conjunto formado por las centrales generadoras de energía eléctrica, las subestaciones de interconexión y de distribución, los Centros de Transformación (CT) y las líneas e infraestructuras utilizadas para el transporte de la energía eléctrica.

Los sistemas eléctricos de producción, transporte, distribución y alimentación de los consumidores de la energía eléctrica funcionan en mayor parte en corriente alterna. En Europa y gran parte del mundo el valor de la frecuencia de la red es de 50 Hz, a excepción de Norteamérica y países de su entorno la cual es de 60 Hz.

Estas frecuencias son las que se denominan frecuencias industriales, ya que son las de más extendidas y utilizadas. Por lo tanto, en lo sucesivo a este proyecto, se considerará siempre corriente alterna trifásica de 50 Hz.

Cuando se habla de consumos domésticos o industriales con baja potencia de contratación ($P < 350$ kW) la energía eléctrica es entregada por la compañía suministradora en la modalidad de Baja Tensión (400/230 V); en cambio, en el momento en que el cliente tiene necesidades de mayor potencia, por causas que bien pueden ser técnicas o económicas, es preferible entregarle la energía en Alta Tensión ($V > 1000$ V). Cuando este solicita la entrega de energía en Alta Tensión, él mismo deberá adecuar las instalaciones para recepcionarla. Es aquí donde aparece el concepto de centro de transformación de abonado. La correcta definición de la aparamenta necesaria para poder controlar, maniobrar y transformar esta energía será vital para el buen funcionamiento del servicio en términos de seguridad, garantía del servicio y calidad de la instalación [1].

En este proyecto se pretende desarrollar por un lado una documentación detallada de cómo funciona un centro de transformación en general y de cómo funcionan todas y cada una de sus celdas. Por otro lado, dado que la Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EBEE) dispone de un centro de transformación de cliente didáctico, se realizará el estudio para automatizar las maniobras del CT. Una vez realizada la automatización se implementará un autómata programable para poder realizar las mismas maniobras desde una pantalla táctil, y a su vez, con esta pantalla realizar una SCADA para visualizar el estado del CT en todo momento, ver el histórico de alarmas sucedidas, consultar el estado de las celdas...

2.1. Objetivos del Trabajo

El presente proyecto tiene como finalidad la automatización de un centro de transformación de cliente, concretamente el centro de transformación didáctico del que dispone la EEBE en su laboratorio de instalaciones eléctricas de alta y baja tensión, por lo tanto, los objetivos se pueden desglosar en los siguientes puntos:

- Estudiar y documentar el funcionamiento detallado de todas y cada una de las celdas que componen el centro de transformación, así como sus componentes interiores.
- Estudiar, definir y realizar la ampliación que se debe implementar en la instalación eléctrica del centro de transformación para poder llevar a cabo un control presencial motorizado (automatización) de las celdas que así lo permitan.
- Realizar los planos y esquemas que sean necesarios para la definición de la nueva instalación, siempre señalizando los nuevos elementos a instalar.
- Implementar un autómata y una pantalla táctil desde la cual se podrá controlar el CT, visualizar el estado de este mediante una SCADA o un sinóptico, realizar maniobras, visualizar alarmas y disparos, etc.

2.2. Alcance del Trabajo

Tal y como se indica en título del proyecto, se ha realizado la automatización del CT didáctico de la EEBE. Tratándose de un proyecto de ingeniería, se ha realizado un estudio completo de las celdas de MT que lo componen. Por lo tanto, el trabajo incluye:

- Al realizar una mejora notable en un elemento existente, en primera instancia se debe documentar el CT.
- Barajar soluciones a las cuestiones planteadas y elegir una.
- Definir la automatización.
- Diseñar unos planos y esquemas para poder llevarla a cabo.
- Implementar la automatización.
- Definir los requisitos del control remoto o telemandado.
- Diseñar los programas para el autómata y para los dispositivos HMI.
- Implementar un autómata y una pantalla.
- Verificar su correcto funcionamiento según lo proyectado.

Con todo esto se pretende mejorar el Centro de Transformación de la universidad y adaptarlo a las nuevas tecnologías creando así un control más complejo del mismo, pero a su vez, más funcional, cómodo y seguro.

3. Los Centros de Transformación

En este primer punto se pretende presentar y dar a conocer los conceptos y las definiciones básicas en este campo de la ingeniería eléctrica.

3.1. Tensiones de Trabajo

Según el Reglamento sobre Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación (RAT), define solo dos tipos de tensión: Baja Tensión (BT) y Alta Tensión (AT). Se define como Alta Tensión aquella superior a 1000 V de tensión eficaz en corriente alterna (CA) o 1500 V en corriente continua (CC).

Ahora bien, según el MIE-RAT-12, las tensiones de Alta Tensión se clasifican a su vez de la siguiente forma:

Tabla 3.1 - Clasificación de tensiones según la norma CEI-71 respectivamente el MIE RAT 12.

Gama A	$1 \text{ kV} < U < 52 \text{ kV}$
Gama B	$52 \text{ kV} \leq U < 300 \text{ kV}$
Gama C	$U \geq 300 \text{ kV}$

En su gran mayoría, las empresas generadoras y distribuidoras de energía eléctrica utilizan los siguientes términos para diferenciar los distintos niveles de tensión:

Tabla 3.2 - Clasificación de tensiones en los círculos profesionales.

Baja Tensión (BT)	$U < 1 \text{ kV}$
Media Tensión (MT)	$1 \text{ kV} \leq U < 50 \text{ kV}$
Alta Tensión (AT)	$50 \text{ kV} \leq U < 300 \text{ kV}$
Muy Alta Tensión (MAT)	$U \geq 300 \text{ kV}$

Por lo tanto, del argot de las grandes eléctricas generadoras y distribuidoras sale la denominada Media Tensión, la cual se utiliza para referirse a instalaciones con tensiones entre 1 y 50 kV. Dichas instalaciones son frecuentes en líneas eléctricas de distribución, las cuales finalizan en centros de transformación donde normalmente se reduce la tensión para adaptarse al consumidor final.

En realidad, no existe ninguna definición clara de Media Tensión donde especifique hasta donde llega esta, pero como es el término usado por las compañías eléctricas para referirse a sus tensiones de distribución, se puede afirmar que corresponde prácticamente a la Gama A del Reglamento.

La Alta Tensión y la Muy Alta Tensión se utilizan en las líneas de transporte, desde las centrales generadoras de energía eléctrica hasta las zonas de consumo.

La Media Tensión se utiliza para las líneas de distribución en la penúltima fase antes de su consumo. Debido a la gran cantidad de energía a distribuir se han ido necesitando rangos de tensiones más altos que eviten así las pérdidas por efecto Joule en su transporte, de ahí la utilización de MT.

La Baja Tensión es utilizada para la alimentación de los receptores, a excepción de grandes motores o máquinas que puedan funcionar a tensiones mayores (3-5-6 kV) debido a factores como puede ser la intensidad.

Vistas estas definiciones es lógico pensar que debe existir un punto en que se transforme de MT a BT para poder alimentar de forma correcta a los receptores finales, estos son los llamados Centros de Transformación.

3.2. Definición de Centro de Transformación

Según la ITC-RAT 01 un Centro de Transformación es una instalación que comprende uno o varios transformadores, apartamento de alta tensión y de baja tensión, conexiones y elementos auxiliares, para suministrar energía en BT a partir de una red de AT o viceversa [2].

En este trabajo, siguiendo el argot tradicional en este ámbito los centros de transformación serán de MT a BT, y se escribirá CT MT/BT. Por lo tanto, un centro de transformación es una instalación provista de uno o varios transformadores reductores de media a baja tensión con la apartamenta, circuitos y obra complementaria necesaria.

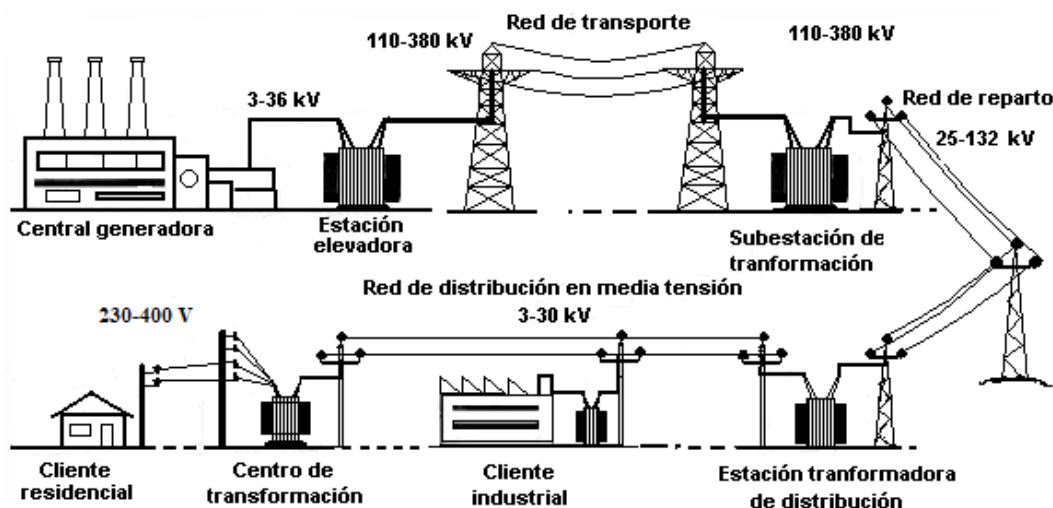


Ilustración 3.1 - Esquema del sistema de suministro eléctrico.

En el sistema eléctrico (generación, transporte y distribución) los CT tienen una gran importancia, ya que permiten distribuir la energía eléctrica a diferentes tensiones, a la vez que permiten la conexión a líneas y redes en los puntos que se estime oportuno. Normalmente se hallan ubicados entre una subestación y los abonados.

Al centro de transformación llegan líneas de distribución en Media Tensión y parten de él las líneas de distribución en Baja Tensión que alimentan a los edificios e industrias colindantes, y en algunos casos los clientes de ámbito industrial pueden optar por comprar energía en Media Tensión. Esto se puede apreciar mejor en la Ilustración 3.1.

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) especifica que en la construcción de un edificio o una agrupación de estos con una previsión de carga superior a 50 kVA, el propietario o promotor de la obra debe reservar un local destinado a la instalación de un CT, con las características y dimensiones apropiadas en cada caso, siempre respetando y siguiendo las características de la red de distribución existente.

3.3. Clasificación de los Centros de Transformación

Los centros de transformación se pueden clasificar en función de distintos criterios:

3.3.1. Clasificación Según su Alimentación

La alimentación, siendo el CT el punto de referencia puede ser con una sola línea de llegada, con dos líneas de alimentación procedentes de la misma subestación o con dos líneas de alimentación procedentes de subestaciones distintas.

En primer lugar, se definen los tipos de centros de transformación según la forma de conexión del CT a la línea de distribución de MT que les suministra energía eléctrica.

CT Independiente: cuando es el único CT en una línea de MT derivada de una subestación transformadora de distribución.

CT en Punta: es aquel CT que está situado en el final de una red radial que alimenta a varios CT.

CT de Paso: son los CT que se encuentran situados a lo largo de una red radial, anteriores al CT de punta. Disponen de una línea de entrada de MT y una línea de salida de MT hacia otro CT.

CT en Anillo: son los CT que están situados en una red de MT en anillo. Disponen de líneas de entrada y de salida de MT. Esta disposición permite tener funcionamiento en el CT, aunque exista una avería en una de las líneas de alimentación.

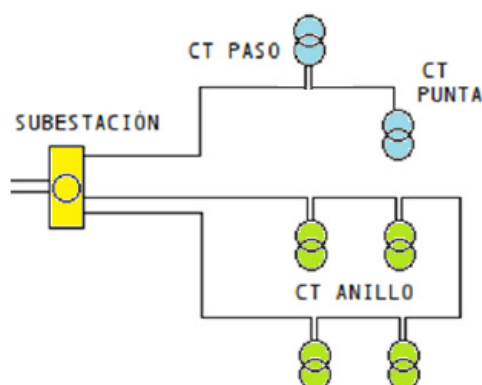


Ilustración 3.2 - CT según su alimentación.

Ahora bien, el CT está alimentado por una red de MT, la cual puede tener tres posibles configuraciones:

Esquema Radial o en Antena: su principio de funcionamiento se basa en una única vía de alimentación. Esto significa que cualquier punto de consumo sólo está alimentado por un único extremo y que, en caso de avería en un punto, de aquel punto en adelante quedarían sin suministro. Este tipo de configuración se da en medios rurales y por regla general las líneas de distribución son aéreas (Ilustración 3.3).

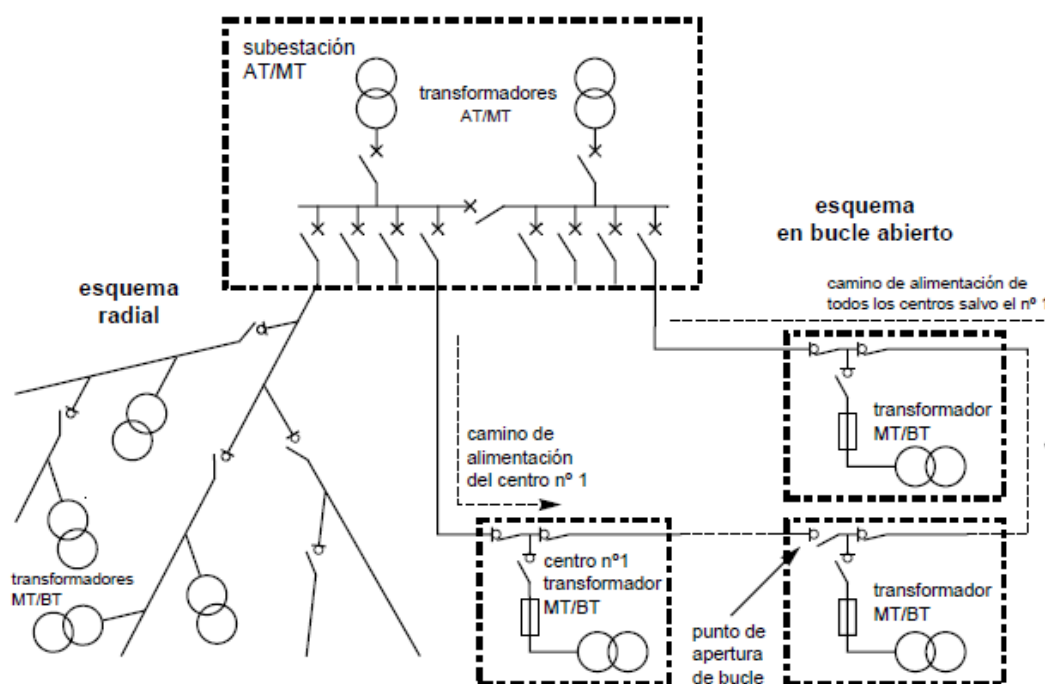


Ilustración 3.3 - Esquemas de base de una red de distribución de MT. Radial y en bucle abierto [1].

Esquema en Bucle Abierto o en Anillo: el principio de funcionamiento se basa en formar un anillo que sale de una subestación y va recorriendo varios CT de manera que cada uno de ellos tiene entrada y salida y al final vuelve a la misma subestación. Normalmente este anillo está abierto en un punto, de aquí la denominación de bucle abierto [1].

En el caso quedar sin suministro una parte de las dos ramas que forman el bucle abierto, se abren los interruptores a lado y lado del fallo y se suministra de cada extremo, cambiando solo la longitud de cada una de las ramas del bucle abierto.

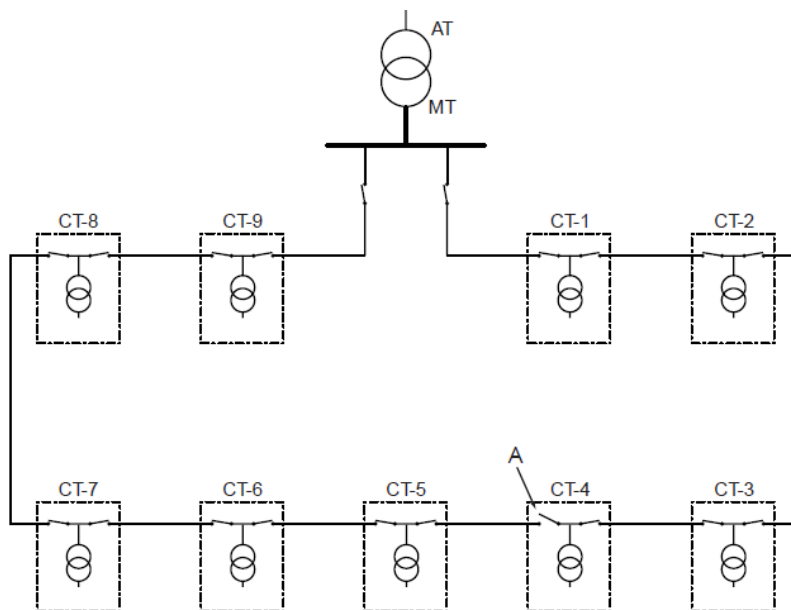


Ilustración 3.4 - Esquema de distribución en bucle abierto [1].

Esquema con Doble Procedencia: la opción menos frecuente pero que también es posible es la combinación de cualquiera de las dos opciones anteriores con el hecho de tener una doble procedencia desde dos subestaciones distintas. Sería el esquema más seguro, pero a su vez es el menos utilizado por su alto coste.

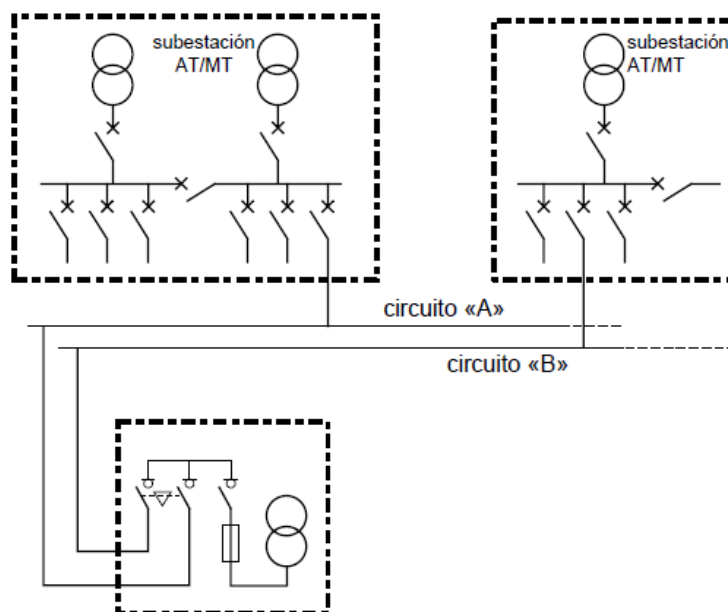


Ilustración 3.5 - Esquema de distribución en doble procedencia [1].

3.3.2. Clasificación Según su Emplazamiento

Un centro de transformación se puede clasificar según su sea su emplazamiento. Este puede ser interior o a la intemperie.

CT de Intemperie (CTI) o Aéreo: este tipo de CT está constituido por un transformador de potencia no superior a 160 kVA, con protección mediante fusibles y seccionadores, y todo ellos montado sobre apoyos de hormigón o metálicos. Los equipos de protección de BT y los equipos de medida se instalarán en un armario en el propio apoyo o a pie de este. Este tipo de CT no requiere de la construcción de edificios específicos, por lo que se reducen los costes de instalación. Son utilizados principalmente en zonas rurales, clientes aislados, obras o suministros provisionales. Ver Ilustración 3.6.

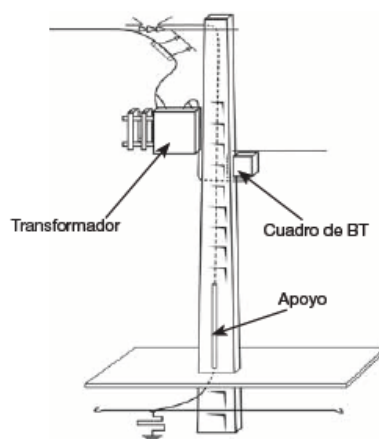


Ilustración 3.6 - Esquema de un CT aéreo [3].

CT de Interior: se caracteriza por tener todos sus elementos en el interior de un recinto cerrado. Existen de diversos tipos:

- **De superficie.** Se accede a él por la vía pública. Puede alojarse en un local de un edificio o bien instalarse de forma independiente a cualquier construcción.
- **Subterráneo.** Está ubicado bajo la vía pública o en el sótano de un edificio. La entrada tanto de personal como de aparataje está a nivel del suelo.

3.3.3. Clasificación Según la Acometida

CT de Acometida Aérea: la alimentación llega al CT a través de una línea aérea de MT de conductores desnudos, y estos acceden al CT mediante aisladores pasamuros.

CT de Acometida Subterránea: la alimentación llega al CT a través de una línea subterránea de MT de conductores aislados. Dicha línea puede venir de otro CT o bien de una línea aérea de MT. En este caso la derivación se realizaría en un apoyo con tres seccionadores unipolares y tres autoválvulas de MT.

3.3.4. Clasificación Según su Obra Civil

CT Convencional: se caracteriza por estar ubicado en el interior de un recinto de obra construido de ladrillo u hormigón. Actualmente ya no se instalan CT de este tipo, pero siguen siendo muy típicos en zonas rurales. Coloquialmente se los conoce como 3 por 3, debido a la superficie de su base.

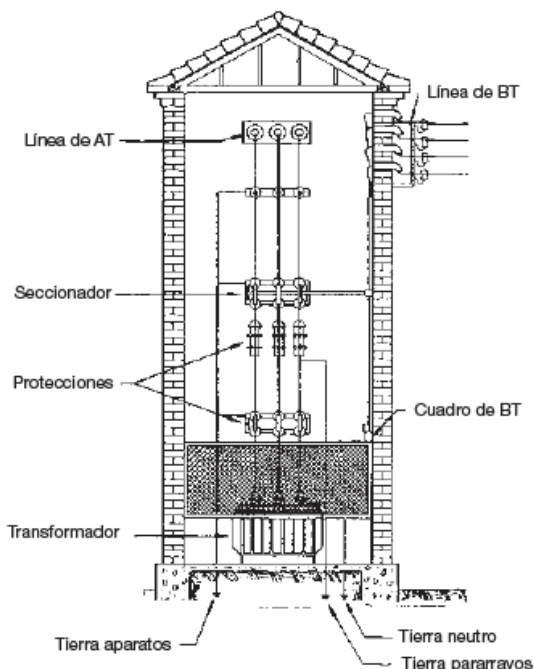


Ilustración 3.7 - CT Convencional [3].

CT Prefabricado: es uno de los sistemas más utilizados en la actualidad. El CT es construido en fábrica y puede ser modular o monobloque. Consiste en una envolvente de hormigón en cuyo interior se alojan todos los elementos necesarios para su funcionamiento, tanto la aparamenta de AT como la de BT.

Si su envolvente es metálica y los elementos que lo constituyen no son funcionalmente independientes, el CT se llama CT Integrado.

CT Compacto: es un CT de estructura monobloque prefabricado. La disposición de la aparamenta en su interior es muy compacta y se aloja en una misma celda, lo que obliga al uso del SF₆ (hexafluoruro de azufre) que actúa como aislante.

De este tipo de CT se pueden diferenciar los de superficie y los semienterrados.



Ilustración 3.8 - Tipos de CT según su disposición constructiva. CT convencional, CT de obra, CT prefabricado y CT compacto [3].

3.3.5. Clasificación Según su Localización Geográfica

CT Urbano: suministra energía a zona con cargas densamente distribuidas y picos de carga importantes a ciertas horas del día. Los transformadores suelen ser de las compañías eléctricas suministradoras.

CT Suburbano: localizado en zonas con una densidad de carga media y en pequeñas y medianas industrias.

CT Industrial: alimentan a grandes industrias.

CT Rural: suministran energía a zonas de escasa densidad de carga y a consumos individuales muy pequeños.

3.3.6. Clasificación Según su Propiedad

Dependiendo de la propiedad de los CT estos se clasifican en:

CT de Distribución: son propiedad de la empresa suministradora de energía eléctrica, la cual efectúa su explotación y mantenimiento y se responsabiliza de su correcto funcionamiento. Por tanto, se dice que el CT forma parte de la “red pública de distribución”. También son conocidos como CT de compañía.

CT de Abonado o Cliente: son propiedad del cliente o abonado al consumo de energía eléctrica y su tensión de alimentación viene condicionada por la red de la empresa suministradoras en la zona donde se pretenda ubicar. Disponen de equipos de medida los cuales miden la energía consumida. Según la ubicación de estos equipos se distinguen de dos tipos:

- CT con equipo de medida en BT. Suelen ser centros de poca potencia y de intemperie.
- CT con equipo de medida en MT. Suelen ser de mayor potencia y presentan celda de medida. A demás, un parte de este pertenece a la compañía y la otra al cliente, y para separarlas se utiliza un interruptor.

3.4. Constitución de un Centro de Transformación

La Norma Tecnológica de la Edificación (NTE-IET) establece dos tipologías de CT en función del número de transformadores que albergue en su interior:

- **CT con equipo transformador sencillo.** Está compuesto por celdas de línea, una celda de protección, un transformador y un cuadro de BT.
- **CT con equipo transformador doble.** Se compone de celdas de línea, dos celdas de protección, dos transformadores y dos cuadros de BT.

Por lo tanto, según lo anterior, un CT consta de uno o dos transformadores y de la aparamenta correspondiente, que aseguran las siguientes funciones:

1. Derivar la línea de red de MT.
2. Control y protección de la instalación en el lado de MT.
3. Transformar la tensión de MT a BT para su correcto suministro.
4. Control y protección de la instalación en el lado de BT.
5. Medida de la energía (CT de cliente).

Con esta finalidad, de forma general, un CT consta de los siguientes elementos:

- Acometida, aérea o subterránea que une el CT con la red de distribución de MT.
- Edificio, donde se alojan los elementos del CT.
- Celdas de MT, contiene la aparamenta de maniobra y protección de la instalación de MT.
- Transformador, en su celda correspondiente.
- Embarrado de MT, constituido por las líneas de unión entre las distintas celdas del CT.
- Celdas o cuadros de BT, contienen la aparamenta de maniobra y protección de la parte de BT.
- Equipo de medida, en BT o MT (en caso de ser un CT de cliente).

3.4.1. Edificio

Cuando las acometidas eran aéreas, se constituían CT de obra de gran altura. A medida que la mayoría de las nuevas acometidas eran subterráneas, los edificios se hicieron de menor altura.

En la actualidad, de cada vez más, se instalan los CT prefabricados y los CT compactos, ya que esto supone la disminución del tiempo de montaje, una mayor protección contra contactos accidentales y la posibilidad de entregar las instalaciones montadas y verificadas.

Véase en *Ilustración 3.8*, como han ido evolucionando los centros de transformación. Se observa la evolución de izquierda a derecha, empezando por los CT convencionales y terminado por los prefabricados y compactos.

3.4.2. Celdas de MT

Las celdas de MT se clasifican según su forma constructiva y según la función que desempeñen.

3.4.2.1. Formas Constructivas

Excepto los CT de intemperie (sobre poste), los diversos elementos que lo constituyen como interruptores, seccionadores... se instalan en el interior de celdas, las cuales permiten, entre otras cosas, independizar unas partes de las otras y facilitar los trabajos y la seguridad a la hora de realizarlos.

En función de su forma constructiva encontramos los siguientes tipos:

Celdas Convencionales: construidas mediante tabiques de obra y con protecciones de chapa en la parte frontal.

Celdas Modulares Prefabricadas: construidas de chapa de acero, totalmente cerradas y que el fabricante suministra montadas en su totalidad, es decir, con la aparamenta correspondiente incorporada. Solo se deben ensamblar y realizar las conexiones.

De estas existen dos tipos:

- **Celdas modulares con aislamiento de aire.** Son módulos metálicos que disminuyen el coste de instalación y montaje.
- **Celdas modulares con SF₆.** La aparamenta de estas celdas se encuentra en el interior de una envolvente de gas SF₆, con unas excelentes propiedades aislantes i térmicas que permite la reducción considerable de las dimensiones de las celdas.

Celdas Compactas: todas las celdas que componen el CT forman un único módulo completo, siendo la envolvente de este de chapa de acero.

3.4.2.2. Tipos de Celdas

Normalmente en cada celda se agrupan los elementos correspondientes a cada uno de los circuitos del CT. El número de celdas y el tipo de estas, depende de cada CT en particular.

Los símbolos utilizados para representar la aparamenta de las celdas de MT son los siguientes:

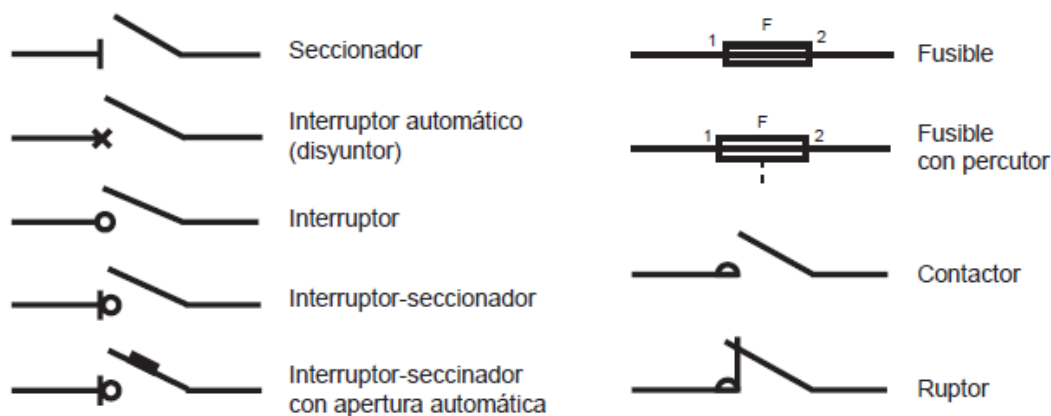


Ilustración 3.9 - Simbología para la representación de esquemas [1].

Las celdas más características son las siguientes:

Celda de Entrada: también conocida como celda de alimentación y/o celda de línea. Es por donde se produce la entrada de la línea de MT al CT que alimenta. La aparamenta característica de dichas celdas suele ser un interruptor-seccionador, un seccionador de puesta a tierra y unos pilotos luminosos los cuales indican la presencia de tensión.

Celda de Salida: desde donde parten las líneas de MT hacia otros CT. Está equipada con un interruptor-seccionador, un seccionador de puesta a tierra y pilotos luminosos indicadores de la presencia de tensión, igual que la celda de entrada, ya que, en realidad son celdas de línea las dos.

Las características de las celdas de entrada y salida de línea las imponen las compañías suministradoras en sus normas particulares.

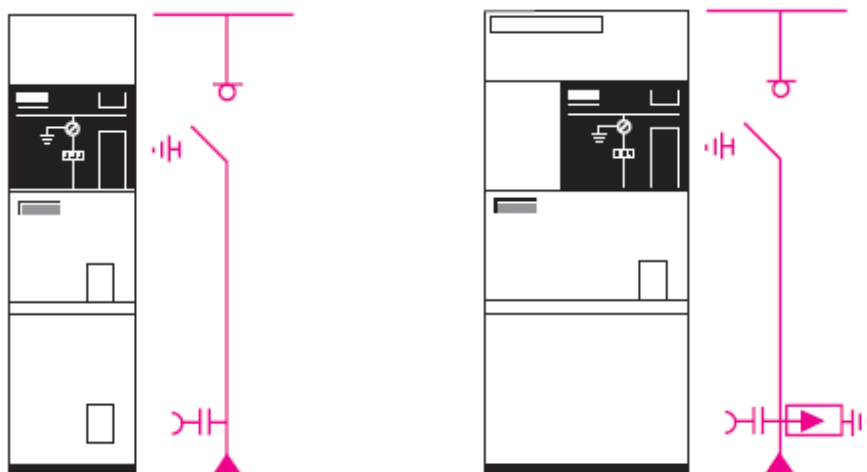


Ilustración 3.10 - Celda de llegada o salida de línea, sin y con autoválvula respectivamente [1].

Celda de Seccionamiento o de Corte: es mediante lo cual se deja fuera de servicio la zona del CT propiedad del cliente, pero dejando que otros CT se puedan seguir alimentando de este. Está equipada con un seccionador.

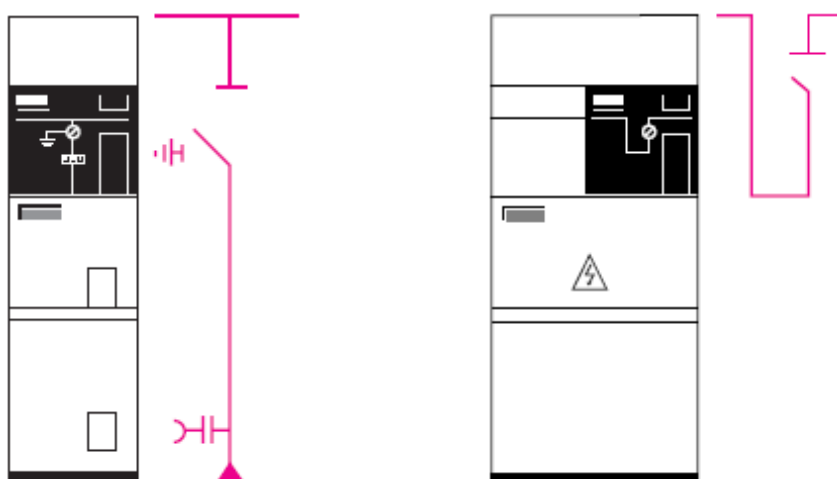


Ilustración 3.11 - Celda de seccionamiento y celda de seccionamiento y remonte respectivamente [1].

Celda de Protección General: en un CT con más de un transformador, permite dejar sin servicio al CT en su totalidad. Contiene un interruptor automático.

Celda de Protección: es donde se sitúan los dispositivos de corte y protección para cada transformador del CT. Contiene un interruptor automático.

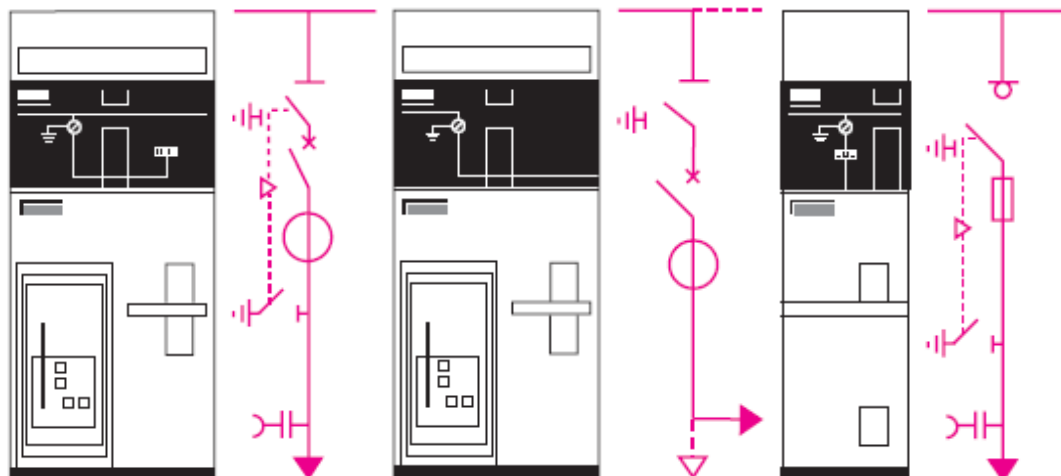


Ilustración 3.12 - Diversos tipos de celdas de protección entre los muchos que existen [1].

Celda de Medida: formada por un conjunto de transformadores de tensión e intensidad que comunican con los aparatos de medida de tensión y corriente situados fuera de la celda. Este tipo de celda solo se encuentra en los CT de cliente y solo podrá tener acceso a ella la compañía suministradora. Los aparatos de medida estarán fuera de la celda, en armarios cerrados y precintados.

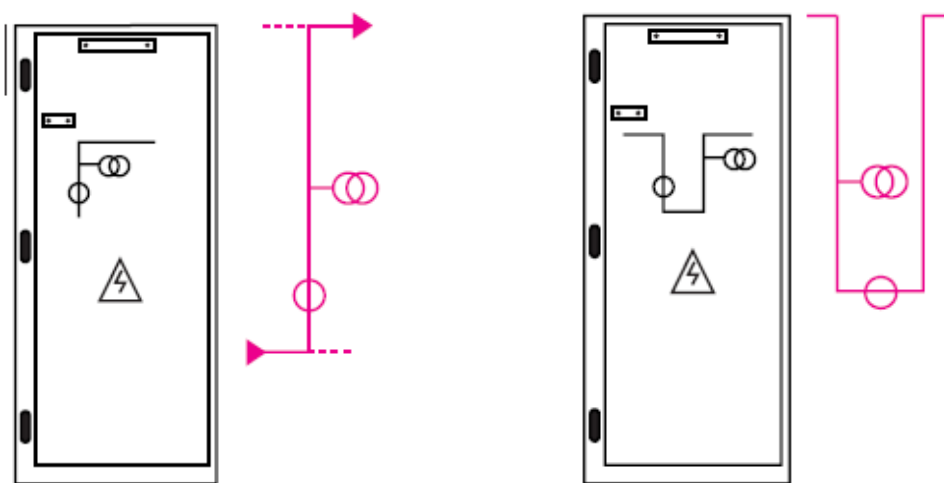


Ilustración 3.13 - Diversos tipos de celdas de medida [1].

Celda de Transformación: donde se sitúa el transformador de potencia. Deberá estar suficientemente ventilada para disipar el calor producido por las pérdidas en el cobre y en el hierro.

Celda de Remonte: se utiliza para unir celda con distinta procedencia de los terminales, o bien en el final para adecuar la salida de cables por donde sea más oportuno en cada caso.

3.4.3. Cuadro de BT

Es la parte del CT desde donde se distribuye la energía eléctrica en BT a los consumidores finales. Actualmente se suelen realizar mediante armarios prefabricados los cuales constan de las siguientes unidades funcionales:

- **Embarrado:** a donde llega la salida en BT del transformador. Además, es donde van conectadas las protecciones de las líneas de BT.
- **Seccionamiento:** realizado mediante un interruptor-seccionador general o interruptor automático tetrapolar.
- **Medida:** amperímetro, voltímetro, contadores, etc.
- **Protección:** realizado mediante interruptores-seccionadores tetrapolares y fusibles en cada una de las líneas de BT de salida.

Además, el equipamiento es distinto en los CT de red pública (compañía) y en los CT de cliente:

- **CT de red pública:** por norma general consisten en un cuadro o armario, con una línea de llegada des del transformador y desde donde salen las líneas de distribución en BT que alimentan los abonados, cada una de ellas protegida por fusibles-seccionadores.
- **CT de cliente:** los cuadros de BT no suelen estar dentro del propio CT, sino fuera de él como mediada de seguridad del personal. Los cuadros de BT de estos centros están más equipados que los de red pública, ya que suelen contener un interruptor automático a la salida de cada uno de los transformadores y en la salida de cada línea de BT de salida. Además, este cuadro estará protegido por un interruptor automático, por fusibles y por un interruptor diferencial.

3.4.4. Esquema Eléctrico de MT del CT

Aquí también encontramos diferencias entre los CT de red pública y los CT de cliente. En la siguiente imagen se aprecian dos esquemas tipo de un CT de cliente, aunque hay más tipos. En ellos se observa que aparecen celdas de medida y que las celdas de protección contienen interruptores automáticos.

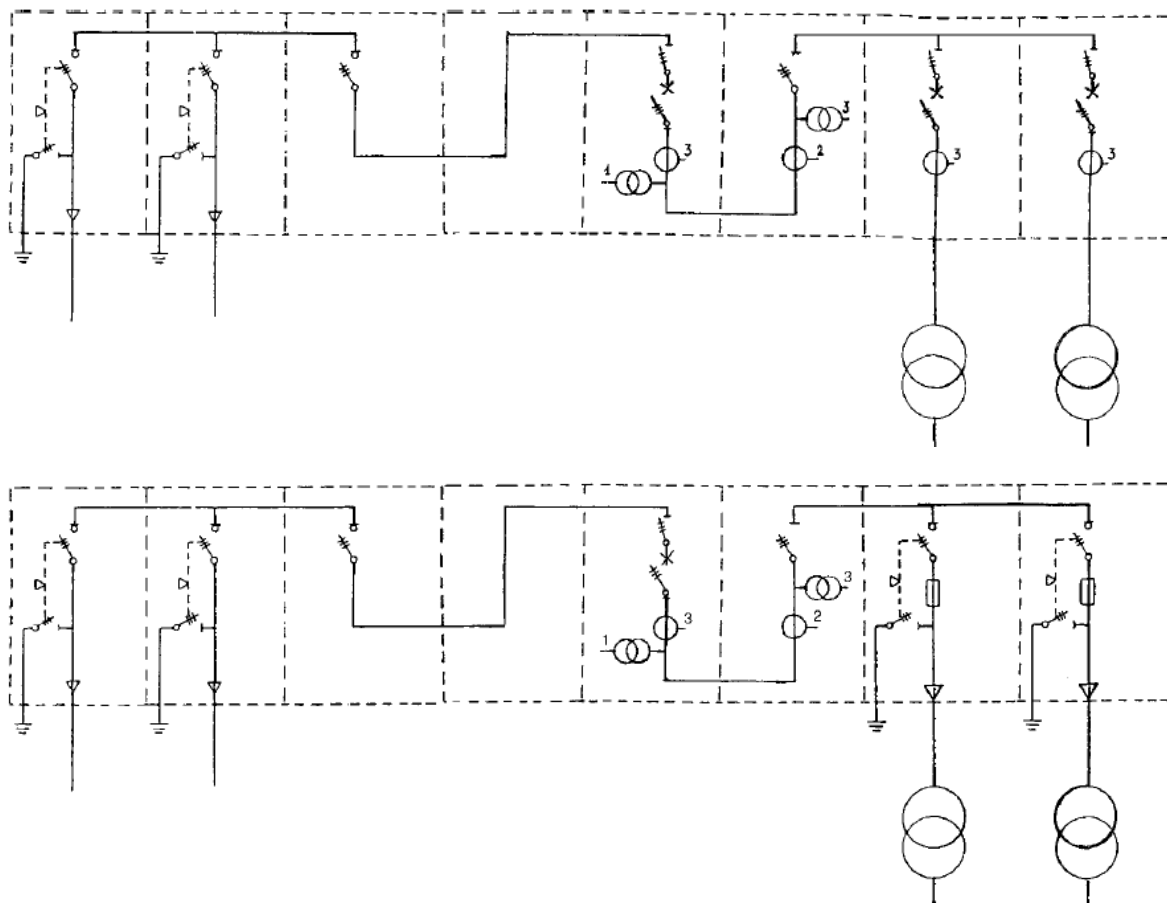


Ilustración 3.14 - Esquemas tipo de CT de cliente [1].

En la imagen siguiente, se pueden ver dos esquemas tipo de un CT de red pública. Pueden ser los más comunes, pero existen muchos más. Su elección depende de su uso y de cada caso en particular.

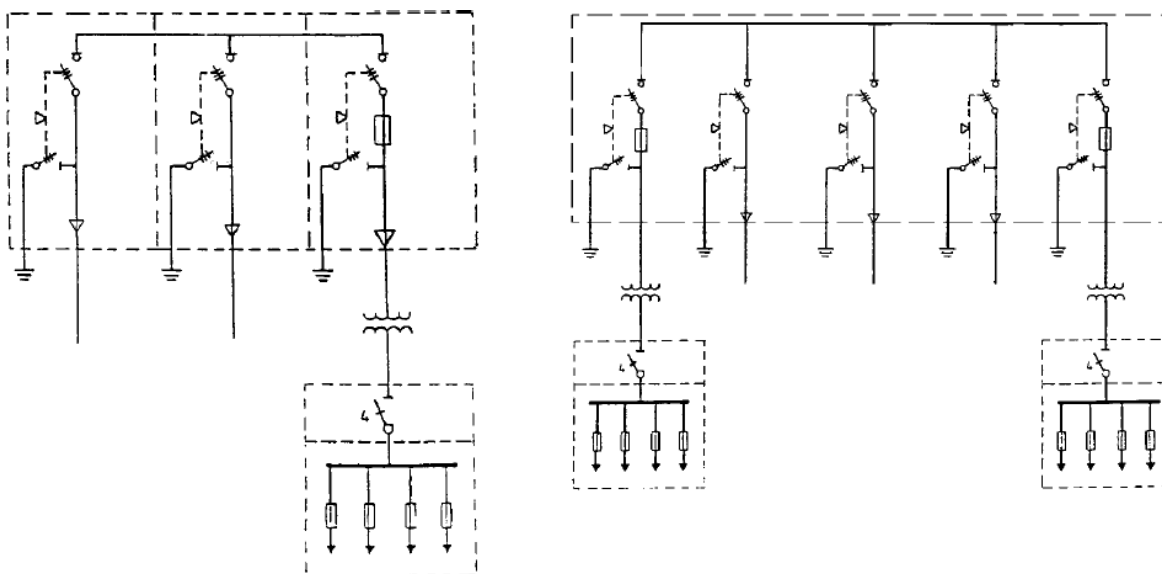


Ilustración 3.15 - Esquemas tipo de CT de red pública [1].

3.5. Aparamenta de Maniobra y Protección en MT en los CT

Es el conjunto de elementos utilizados en la protección y la conexión-desconexión de los circuitos y aparatos eléctricos.

Se puede distinguir entre:

- Aparamenta de protección:
 - Las protecciones propias del transformador como el relé Buchholz, termómetro, termostato, disyuntor, fusibles, autoválvulas...
 - Aparamenta de BT.
 - Protecciones de carácter general.
- Aparamenta de maniobra:
 - Seccionadores.
 - Interruptores.
 - Interruptores automáticos (disyuntores).

3.5.1. Características Comunes de la Aparamenta de Maniobra y Protección en MT

Tensión nominal: valor de la tensión para la cual ha sido diseñado un elemento. Los valores típicos son: 3,6, 7,2, 12, 24, 36, 52 y 72,5 kV.

Nivel de aislamiento nominal: tensiones de ensayo soportadas.

Intensidad asignada en servicio continuo: valor eficaz de la corriente que es capaz de soportar un elemento de forma indefinida en condiciones normales de funcionamiento. Valores frecuentes: 200, 400, 630, 800, 1.600 y 6.300 A.

Intensidad admisible de corta duración asignada: valor eficaz de la corriente que un elemento puede soportar durante un corto periodo de tiempo especificado y en las condiciones prescritas. Los valores típicos van entre 6 y 100 kA.

Duración admisible asignada de la intensidad de cortocircuito: intervalo de tiempo en el cual un elemento puede soportar la intensidad asignada de corta duración admisible. Normalmente por cortocircuito es de 1 segundo.

Poder de corte: intensidad eficaz máxima que es capaz de cortar un aparato sin sufrir desperfectos.

Poder de cierre: máxima intensidad en valor instantáneo (valor de cresta) que puede admitir un aparato. Este valor se produce durante las maniobras de cierre.

3.5.2. Maniobras Posibles con los Elementos de Maniobra y Protección

Maniobras en vacío: permiten separar y aislar un circuito o un elemento del resto de la instalación eléctrica cuando esta no está en carga (sin tensión). Estos elementos no tienen capacidad de corte, como es el caso de un seccionador.

Maniobras en carga: permiten actuar voluntariamente sobre el funcionamiento de la instalación en carga, abriendo y cerrando los circuitos. Estos elementos deben tener la capacidad de corte en carga, como es el caso de un interruptor.

Maniobras en condiciones anormales: permiten actuar rápidamente cuando se produce un cortocircuito en la instalación. Estos elementos deben tener un poder de corte superior para poder abrir el circuito cuando por él circula una intensidad de cortocircuito. Estos elementos son los disyuntores.

Protección eléctrica: Es una maniobra en carga que protege de:

- Sobreintensidades: sobrecargas y cortocircuitos.
- Sobretensiones: defectos de aislamiento (protección de personas).
- Defectos de aislamiento.

3.5.3. Protecciones en MT en el CT

Las protecciones que se utilizan en un CT tienen como finalidad:

- Garantizar la seguridad de las personas.
- Evitar el deterioro y/o destrucción del material.
- Permitir las maniobras necesarias para el correcto funcionamiento de las instalaciones.

Para conseguir este objetivo se establecen dos tipos de protecciones en los CT:

- **Protecciones del transformador.**

Posibles causas de avería en el transformador:

- En el circuito magnético: Falta de aislamiento entre las chapas, entre chapas y bobinas...
- En el circuito eléctrico: Defectos internos (cortocircuitos entre espiras...) y defectos externos.
- En el dieléctrico: Consecuencia de las anteriores.
- En el circuito de refrigeración: Pérdida de aceite, oxidación del aceite...

Se tienen dos tipos de protecciones del transformador:

- Protecciones propias del transformador: Forman parte del transformador, ya que están integradas en él. Normalmente detectan averías producidas dentro de la cuba. Como pueden ser el Relé Buchholz, termómetros....

- Protecciones externas: No son parte del transformador, se sitúan de forma separada y utilizan elementos de medición distintos. Ofrecen protección contra sobrecargas y cortocircuitos, protección contra sobretensiones, protección diferencial...
- **Protecciones de carácter general.**
La puesta a tierra de la instalación, protección contra incendios, equipos de iluminación de emergencia, pantallas protectoras...

La protección del transformador se realizará limitando los efectos térmicos y dinámicos mediante la interrupción de paso de la corriente o con su limitación.

3.5.3.1. Protecciones del Transformador

Los dispositivos de protección propios del transformador más utilizados son:

Relé Buchholz. Cualquier irregularidad magnética o eléctrica en el interior de un transformador originan sobrecalentamientos locales que descomponen el aceite o la combustión de los aislantes, eso da lugar a la formación de gases.

El Relé Buchholz se sitúa entre la bañera y el depósito de expansión o depósito conservador y detecta la aparición de dichos gases. En caso de aparición de estos, puede activar una alarma o incluso desconectar el transformador dependiendo de la gravedad y de cómo se haya configurado o programado.

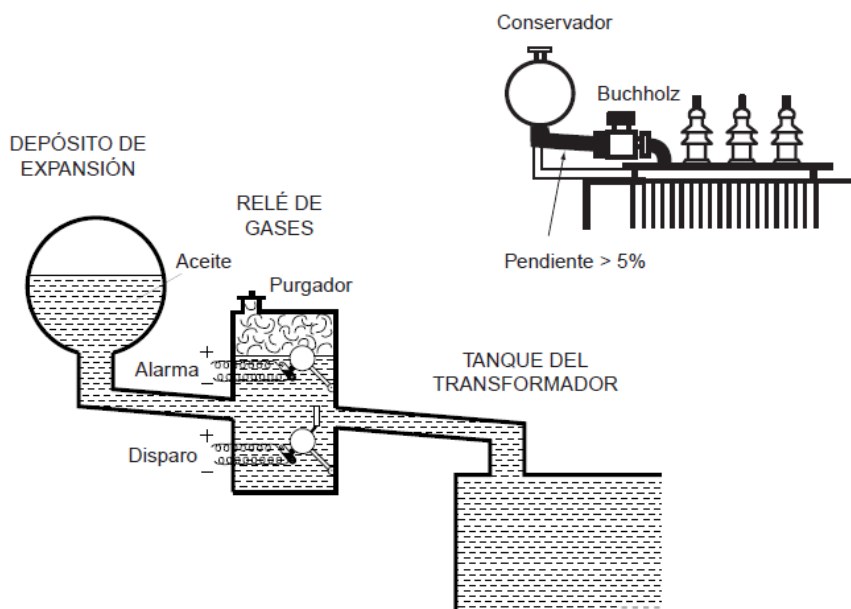


Ilustración 3.16 - Detalle y funcionamiento del Relé Buchholz [1].

Detector de presión de gas. Es el nombre que recibe el relé de detección de gases del transformador de distribución MT/BT de relleno integro, sin depósito conservador. Realiza la misma función que el Relé Buchholz y se sitúa en la tapa superior del transformador.

Termómetros y termostatos. La protección se basa en la detección de un sobrecalentamiento de la máquina. Pueden generar una alarma o desconectar el transformador, dependiendo de su configuración o programación.

3.5.3.2. Protecciones Contra Sobrecargas y Cortocircuitos en MT

Los dispositivos más frecuentes en los CT en materia de protección contra sobrecargas y cortocircuitos en MT son los fusibles y los interruptores automáticos.

Fusibles. Las intensidades nominales (calibres) son: 6,3, 10, 16, 20, 25, 31,5, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160 y 200 A.

Los fusibles deben soportar sin fundirse las puntas de corriente que se producen el momento de la conexión del transformador, sabiendo que la función del fusible de MT es la de proteger contra corrientes de cortocircuitos, pero no de sobrecargas que se produzcan en el transformador. En este caso la protección es mediante el control de temperatura del transformador o bien mediante relés de sobreintensidad que actúen por encima del interruptor.

Para la elección de fusibles destinados a la protección del transformador, en los catálogos de los fabricantes se puede encontrar unas tablas de elección según la potencia y la tensión del transformador. Se debe tener en cuenta que la tensión nominal de este debe ser igual o más elevada que la tensión de la red, la intensidad máxima de corte asignada debe ser igual o más elevada que el cortocircuito de la red.

Para la protección de transformadores, los fusibles deben ser capaces de resistir sin fundir una intensidad 12 veces superior a la nominal del trafo durante 0,1 s. también debe cortar las corrientes de defecto a las bornas del secundario del transformador en un tiempo inferior a 2 s. por último, deben soportar la intensidad en servicio continuo y las elevadas sobrecargas, para ello la intensidad nominal del fusible debe ser 1,4 veces superior a la intensidad nominal del transformador.

Interruptores automáticos. También llamados disyuntores, son elementos de maniobra y protección contra sobreintensidades, que desconectan automáticamente el transformador cuando hay un aumento de la intensidad mayor de lo previsto en cualquiera de las tres fases.

Están accionados por relés, los cuales pueden ser directos o indirectos.

3.5.3.3. Protección Contra Sobreteniones

Es una protección externa del transformador. Se realiza mediante autoválvulas (pararrayos) conectados entre los conductores de línea y tierra, protegiendo al CT contra sobreteniones de origen atmosférico (rayos) en el caso que el CT sea alimentado por una línea aérea. También existen sobreteniones internas producidas por maniobras (apertura y cierre de interruptores automáticos) o accidentes (cortocircuitos a tierra).

Cuando la tensión es la nominal, la autoválvula se comporta como un circuito abierto, pero cuando la tensión es superior se vuelve conductora y permite ser atravesada por la corriente hasta tierra, impidiendo así la llegada de la sobretensión al CT.

Estas autoválvula se instalan normalmente en el exterior, sobre poste. En caso de que la línea desde ese poste hasta el CT sea de una longitud superior a 25 m será necesario un segundo limitador de tensión en bornes del transformador.

3.5.3.4. Otras Protecciones en los CT

Existen otras protecciones que se deben tener en cuenta a la hora de instalar un nuevo CT, como:

- Protección contra incendios automática o con extintores móviles.
- Alumbrado, señalización y material de seguridad:
 - Alumbrado general.
 - Alumbrado de emergencia.
 - Instrucciones de primeros auxilios.
 - Cartel de riesgo eléctrico en la puerta.

3.6. Maniobras en los CT

De forma general, en la maniobra en los CT es necesario observar las siguientes normas básicas de seguridad:

- No accionar nunca un seccionador en carga.
- Para efectuar el corte de un servicio en carga, se debe accionar primero un interruptor.
- Antes de accionar un seccionador de puesta a tierra, comprobar la ausencia de tensión.
- Antes de restablecer el servicio, comprobar que están abiertos todos los seccionadores de puesta a tierra.
- Utilizar el material adecuado para realizar cada maniobra.
- Cumplir siempre las 5 Reglas de Oro en todos los trabajos sin tensión [4].¹

¹ Para recordar las 5 Reglas de Oro para trabajos sin tensión se puede consultar la siguiente página web:
<http://prevencionar.com/2017/12/04/cinco-reglas-oro-trabajos-sin-tension/>

3.7. Hexafluoruro de Azufre (SF_6)

En los puntos anteriores y a lo largo de todo el proyecto se habla del gas SF_6 , ya que por sus grandes cualidades dieléctricas es el gas utilizado para rellenar la aparenta de MT.

A continuación, se exponen sus cualidades y los motivos por los cuales es utilizado.

El hexafluoruro de azufre (SF_6) es un gas en condiciones normales de presión y temperatura es incoloro, inodoro, ininflamable y no tóxico. Es un gas unas 5 veces más pesado que el aire, y a temperatura ambiente se puede licuar por compresión. A demás, su rigidez dieléctrica y sus propiedades refrigerantes aumentan con la presión. A elevadas temperaturas (más de 204°C) se descompone en sustancias tóxicas como ácido fluorhídrico, dióxido de azufre y varios sulfatos.

El SF_6 garantiza el corte y el aislamiento eléctrico en MT ya que, el flúor es muy electronegativo y capta los electrones libres a su alrededor, normalmente formados por un arco eléctrico. Con lo que, junto con su acción de enfriamiento, contribuye de forma eficaz a la desionización del espacio en que se encuentre, de tal forma que incrementa su rigidez dieléctrica.

Esta disociación de la molécula de gas es reversible prácticamente al 100%, de manera que al extinguirse el arco la temperatura desciende y se produce una recombinación de las moléculas de SF_6 .

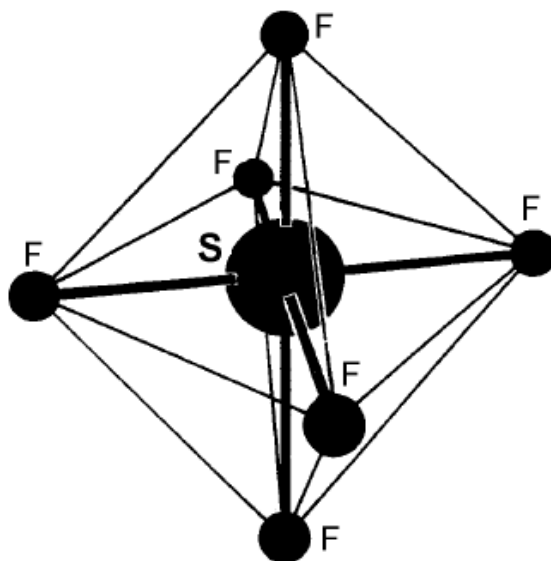


Ilustración 3.17 - Molécula de SF_6 [1].

Por último, hay que destacar que es un gas de efecto invernadero, por lo que las fugas de este gas incrementan el calentamiento global. Si bien no, con las medidas de seguridad correctas no hay inconvenientes en que se utilice ya que, son muchas sus ventajas cuando se habla de seguridad o simplemente del hecho de poder reducir considerablemente las dimensiones de la aparenta de AT y MT.

4. Documentación del CT Didáctico de la EEBE

Como se ha comentado en la introducción, para el desarrollo del presente trabajo se utiliza el CT didáctico del que dispone la EEBE en su laboratorio de instalaciones eléctricas de alta y baja tensión.

Una vez estudiados y resumidos los Centros de Transformación en general en el punto anterior del presente proyecto, antes de realizar la automatización del CT, se debe conocer a la perfección cómo funcionan todas y cada una de las celdas que lo constituyen. Para ello, se realizó un estudio de documentación detallada del mismo.

El centro de transformación didáctico de la EEBE está constituido por las siguientes celdas (ver Ilustración 4.1):

- 2 Celdas de línea
- 1 Celda de seccionamiento y remonte
- 1 Celda de protección general con interruptor automático
- 1 Celda de medida de tensión e intensidad



Ilustración 4.1 - Configuración del CT didáctico de la EEBE [5].

Esta tipología de CT corresponde a un centro de transformación de abonado para contratación de un transformador.

En este kit didáctico, las celdas de línea y la de protección son motorizadas.

Ahora bien, se debe saber que un CT didáctico está formado por los mismos transformadores y celdas de maniobra y protección que un CT ordinario, simplemente están adaptados para adecuarse a la función formativa que deben desempeñar.

Por seguridad, estos equipos didácticos de MT están previstos para operar en Baja Tensión, siempre simulando un funcionamiento real en MT.



Il·lustració 4.2 - Centro de transformación didáctico de la EEBE.

Los centros de transformación didácticos de *Schneider Electric* están constituidos por celdas modulares equipadas con apartamentada fija. Dichas celdas están protegidas por una envolvente metálica y además utilizan hexafluoruro de azufre como agente de corte.

La conexión entre este tipo de celdas llamadas modulares, se realiza mediante barras aisladas al aire. Todos los mandos están situados en el frontal de cada celda, y las paredes (envolvente metálica) laterales, frontal y trasera son fácilmente desmontables para poder acceder a su interior.

Como se ha comentado anteriormente, se sabe que un CT es de cliente o abonado cuando en él se encuentra una celda de medida, algo que es característico de los CT de cliente y que los CT de compañía no poseen. En la Ilustración 4.2 anterior, se ve como efectivamente el CT del laboratorio de instalaciones eléctricas posee una celda de medida.

Lo primero que se hizo fue retirar las carcasas plásticas y metálicas con el objetivo de conocer con exactitud toda la apartamentada que constituye el CT en su totalidad.

Esta parte es desconocida por la gran mayoría de profesionales que trabajan con CT, ya que, de normal se suelen dedicar a montarlos y ponerlos en funcionamiento; de hecho, si dan algún tipo de problema, lo más habitual es que den parte al fabricante y este se encargue de solucionarlo.

En la Ilustración 4.3 siguiente, se puede observar cómo se destapó por completo el CT al inicio del trabajo.



Il·lustració 4.3 - CT didàctico de la EEBE desmuntado.

Además, las empresas fabricantes de estos productos no dan muchos detalles de cómo están diseñadas, hechas y cableadas estas celdas. De hecho, la información específica que se puede encontrar al respecto es bastante limitada y la mayoría esta proporcionada por los propios fabricantes.

Se empieza a estudiar de izquierda a derecha, comenzando pues por las celdas de línea. Cabe decir, que se les da más importancia a las celdas susceptibles de automatizar como son las de línea y la de protección, ya que el cometido de este proyecto es realizar el control y la automatización del CT.

4.1. Celdas de Línea

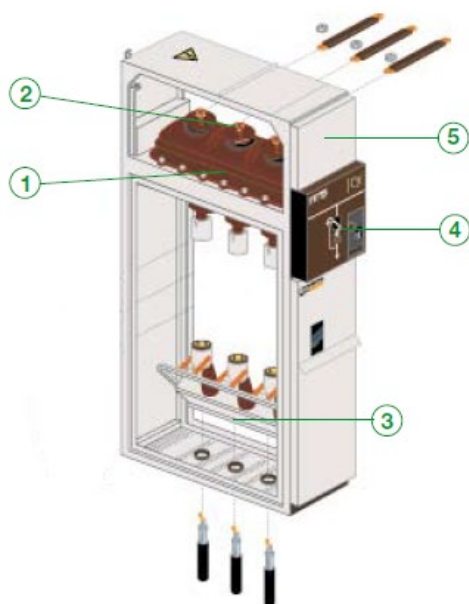
Las celdas de línea pueden ser de entrada o salida, tal y como se ha comentado anteriormente. Las de entrada reciben al conductor de alimentación en el CT y, por otra parte, las de salida se encargan de derivar la línea de MT hacia otro CT, en el caso de ser un CT de punta.

En la imagen que se muestra a continuación, se puede apreciar la apariencia física de una celda de línea. En la parte derecha de dicha imagen, se muestra cómo es su simbología



Ilustración 4.4 - Celda de línea. ISEFSIM16M Motorizada.

Para que se vean las partes más representativas se adjunta la siguiente imagen:



Celda de Línea:

1. Interruptor-Sectionador/Sectionador de puesta a tierra.
2. Juego de barras al aire.
3. Soporte para cables de MT.
4. Mando local de la celda.
5. Compartimento de BT.

Ilustración 4.5 - Croquis de una celda de línea [5].

Esta celda está provista de un interruptor-seccionador en atmósfera de SF₆, un seccionador de puesta a tierra y detectores capacitivos de presencia de tensión. El embarrado y las conexiones son al aire, y la maniobra posee un resorte de ayuda al cierre y a la apertura rápida.

Anteriormente ya se ha comentado el hecho de que estas celdas están provistas de un motor para poder realizar las maniobras de forma no presencial en el CT, siendo así mucho más seguro para los operarios y aportando una comodidad extra al no tener que ejecutarlas de forma manual, ya que son acciones que requieren de fuerza física para ejecutarlas.

4.1.1. Componentes Interiores

En primera instancia, una vez destapadas las celdas de línea (véase Ilustración 4.6), se procedió a la identificación de los elementos que la componen. A simple vista se pudo comprobar que disponía de motor, de no ser así el presente proyecto habría dejado de tener sentido en una de sus partes.

Dichos elementos se soportan en la base de la celda, la cual es de chapa galvanizada y garantiza su indeformabilidad y su resistencia a la corrosión.

Más adelante se describirán y se detallarán todos los componentes que forman parte de una celda de línea.

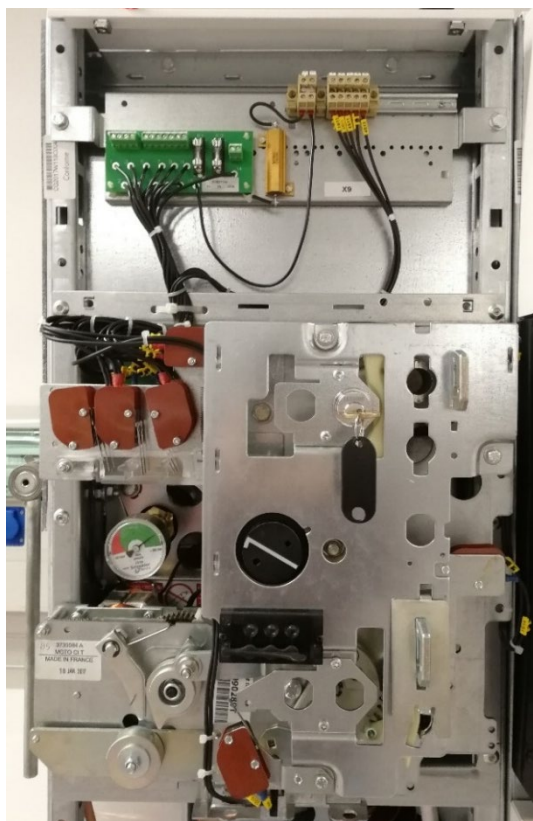


Ilustración 4.6 - Parte interna de la celda de línea, mecanismos y cableado.

La parte más voluminosa de la Ilustración 4.6, es el mecanismo de operación con motor de la celda y es una parte opcional en el momento de la compra de la celda. Estas celdas si disponen de motor con lo cual, este mecanismo se usará para automatizarlas.

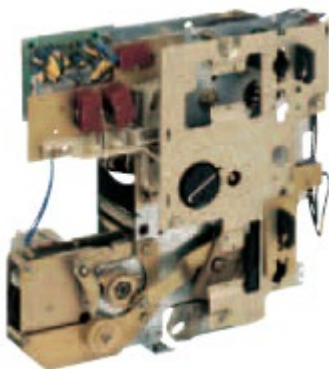


Ilustración 4.7 - Mecanismo de operación con motor de la celda de línea [6].

Sobre las planchas metálicas de este dispositivo van montados los finales de carrera que se utilizan para saber el estado o posición del interruptor-seccionador y del seccionador de puesta a tierra.

4.1.1.1. Bornes de Conexión

En la parte superior de la celda, en el interior del compartimento BT se encuentran ubicadas las regletas de bornes, las cuales tienen por finalidad permitir la conexión con el exterior de la celda sin tener que llegar a manipular el cableado interno de la misma. Las bornas X1 corresponden a la parte de control del mecanismo de la celda, y las bornas X9 corresponden a los estados de posición del interruptor-seccionador y del seccionador de puesta a tierra.

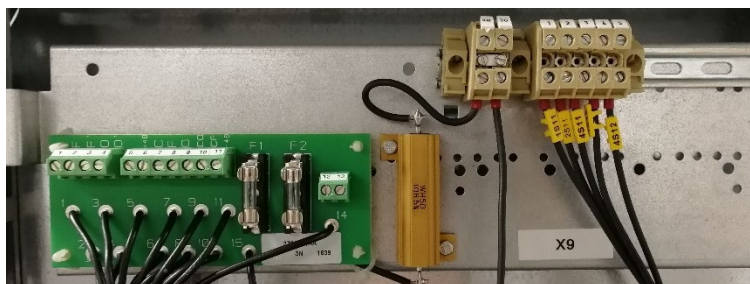


Ilustración 4.8 - Regletas de bornes de la celda de línea.

4.1.1.2. Sensores (Finales de Carrera)

Dispone de un total de 15 detectores mecánicos (finales de carrera), las funciones de los cuales se reparten del siguiente modo:

- S1-S6 6 contactos accionados con el interruptor cerrado
- S7-S9 3 contactos accionados con el interruptor abierto
- S10-S12 3 contactos de posición del seccionador de puesta a tierra
- S13 1 contacto accionado por la palanca de mando del interruptor

- S14 1 contacto accionado por la palanca de mando del seccionador de puesta a tierra
- S21 1 contacto de enclavamiento por cerradura

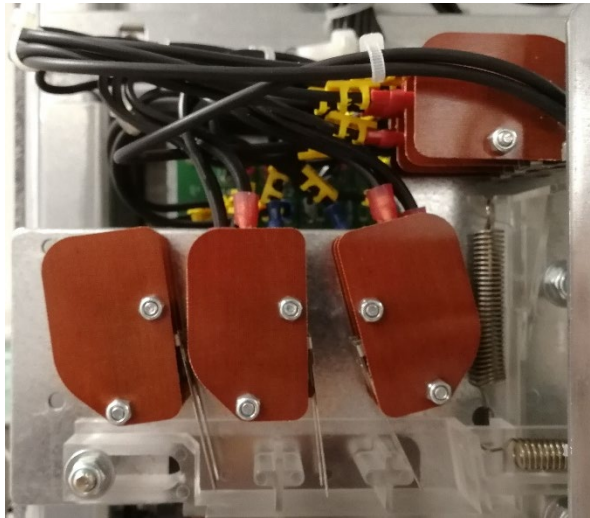


Ilustración 4.9 - Fotografía de detalle de algunos finales de carrera de la celda de línea.

4.1.1.3. Interruptor-Seccionador/Seccionador de Puesta a Tierra

Un interruptor-seccionador se define como un aparato mecánico de conexión capaz de establecer, soportar e interrumpir intensidades en condiciones normales de funcionamiento, pudiendo actuar eventualmente en condiciones puntuales de sobrecarga. También es capaz de soportar durante un tiempo especificado intensidades de cortocircuito, y a su vez puede establecerlas, pero no interrumpirlas.



Ilustración 4.10 - Interruptor-seccionador bajo carga o de aislamiento [6].

En la Ilustración 4.10 anterior, se puede apreciar la forma que tiene un interruptor-seccionador bajo carga. La parte que se ve, el exterior del aparato es la llamada cuba. Esta contiene el interruptor en su interior, y está herméticamente cerrada porque también contiene un gas inerte, concretamente el hexafluoruro de azufre (SF_6).

Esta cuba está sellada porque el SF_6 debe permanecer a una presión relativa constante de 0,4 bar. Este sistema ofrece una máxima seguridad de operación sin necesidad de mantenimiento por una media

de unos 30 años. Para la comprobación de la presión en su interior, estas celdas incorporan un manómetro el cual es visible desde el exterior de la celda, sin necesidad de extraer ninguna carcasa. Puede observarse en la Ilustración 4.6.

La cuba está equipada con un dispositivo de evacuación de gases que, en caso de arco eléctrico en su interior, permita su expulsión por la parte trasera de la celda. De esta forma se evita un riesgo considerable para el personal que pudiera estar allí presente.

El interruptor-seccionador es de tipo rotativo y dispone de tres posiciones: conectado, seccionado y puesto a tierra. No permite la conexión de puesta a tierra sin previamente haber abierto el interruptor.

Principio de funcionamiento:

Gracias a las buenas características del gas SF₆ se logra un funcionamiento muy seguro en un espacio muy pequeño. La combinación de la corriente del arco y un campo magnético provisto por un imán permanente provoca la rotación del arco alrededor del contacto fijo, de esta forma se consigue su alargamiento y enfriamiento hasta su extinción cuando la corriente pasa por cero [6].

El interruptor-seccionador cuando se encuentra en la posición de abierto establece una distancia visible de seccionamiento que cumple las exigencias de seguridad requeridas para la función de seccionador. Aunque parezca poca la distancia que pueda existir entre los contactos fijos y los móviles es suficiente incluso para resistir la tensión de restablecimiento.

Gracias a este sistema se consigue alargar mucho la vida útil de los equipos de maniobra de MT, ya que el desgaste entre contactos es mínimo.

Mecanismo de accionamiento:

Para que un interruptor-seccionador tenga un poder de cierre en cortocircuito, su maniobra debe ser realizada a una cierta velocidad. Para ello, están equipados con un dispositivo que asegure la fuerza y las velocidades de cierre y apertura, independientemente de cuál sea la acción del operador.

Para estos casos lo más habitual es hacerlo con un mecanismo de acumulación de energía por resortes, conocidos como muelles.

El resorte (muelle) acumula la energía que se le es aplicada ya sea manual, eléctrica, neumática... hasta llegar a un punto de tensado, en esta posición libera automáticamente dicha energía provocando el cierre o la apertura con una fuerza y una velocidad oportuna para ello.

En este caso, tratándose de un llamado aparato combinado, por el hecho de combinar un interruptor-seccionador con un seccionador de puesta a tierra, comparten mecanismo de accionamiento. Así se asegura que cumpla el requisito de que el seccionador de puesta a tierra debe tener un poder de cierre igual al del interruptor-seccionador.

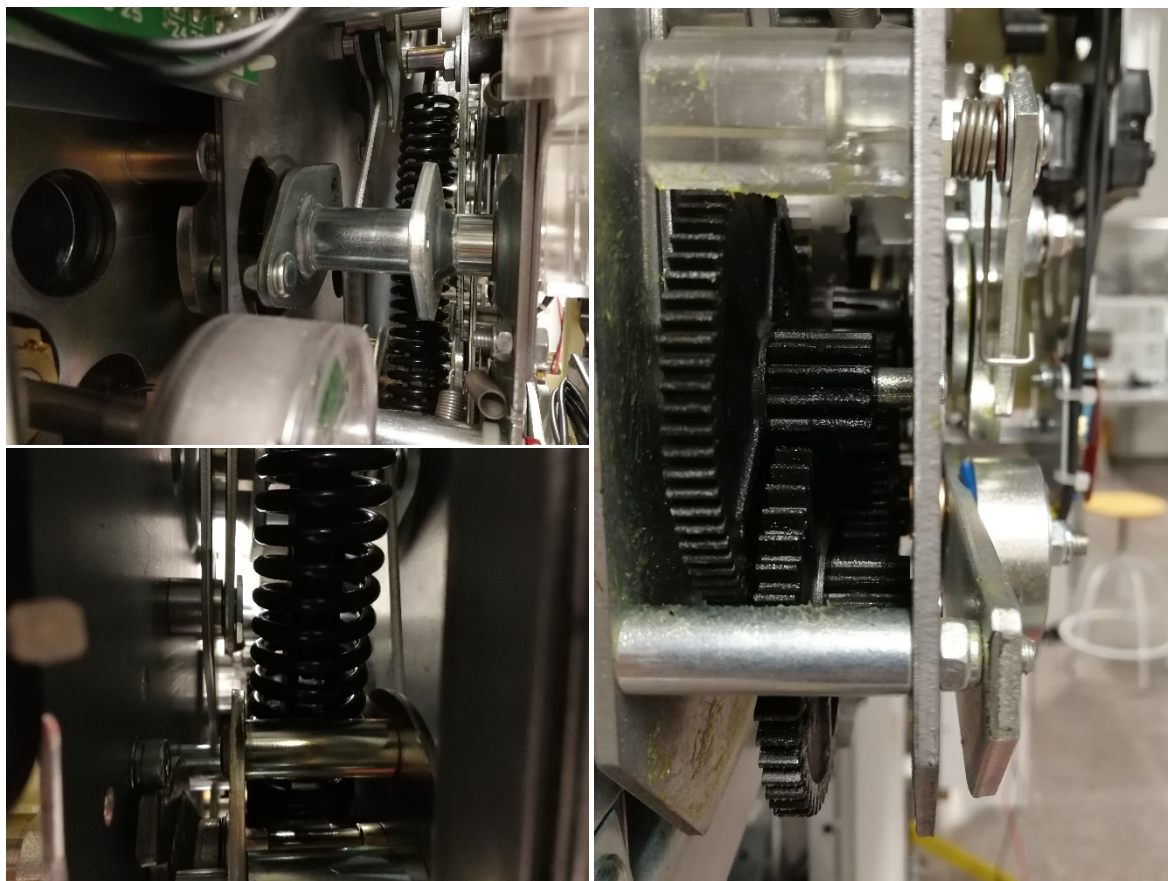


Ilustración 4.11 - Detalles del mecanismo de accionamiento.

Aplicaciones:

Las aplicaciones más frecuentes de los interruptores-seccionadores son las maniobras de redes de distribución de MT y las maniobras de protección de transformadores de distribución de MT/BT.

El interruptor-seccionador con seccionador de puesta a tierra asume las funciones de interruptor, de seccionador y de conexión a tierra y en cortocircuito.

Según la primera de las conocidas como “Las Cinco Reglas de Oro de la Seguridad” , debe establecerse una distancia mínima de separación visible entre dos puntos para que se cumpla el corte visible. Ahora bien, con los seccionadores de puesta a tierra en atmosfera de SF₆ existe una pequeña excepción, ya que en este caso el corte no es visible.

Por este motivo se ha introducido el concepto de corte efectivo, que sería el equivalente al corte visible pero adaptado a la nueva tecnología. Se define el corte efectivo como la apertura de un circuito eléctrico que no permite una comprobación visual pero que su posición de abierto es señalada por un segundo medio igual de seguro. En el caso de la celda de línea sería la parte giratoria del sinóptico, ya

que esta parte es solidaria al mecanismo de del interruptor girando a la vez que este en cualquier maniobra mediante una cadena cinemática directa y fiable.

Por lo tanto, en estos casos se considera que el corte efectivo es equivalente en función al corte visible a los efectos oportunos de seguridad a la hora de realizar trabajos de mantenimiento, intervenciones...

En la siguiente imagen se detallan las posiciones en las que se puede encontrar un interruptor-seccionar con seccionador de puesta a tierra, y a su vez se indican los elementos que lo componen:

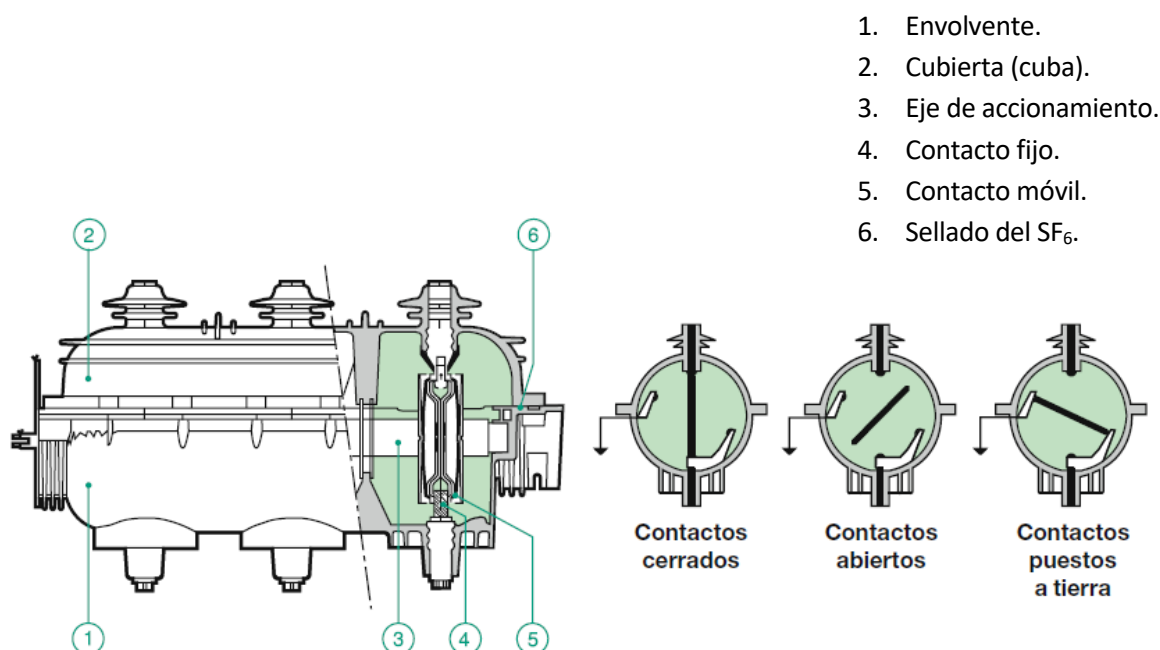


Ilustración 4.12 - Detalle de la rotación de la parte móvil en los interruptores-seccionadores de MT [6].

4.1.2. Enclavamientos

4.1.2.1. Enclavamientos Mecánicos

Responden a la norma internacional IEC 60298 y a su correspondiente norma UNE-EN 60298, las cuales dicen que los enclavamientos deben producirse de la siguiente forma:

- El cierre del interruptor sólo es posible con el seccionador de puesta a tierra abierto y su correspondiente panel de acceso está cerrado. Dicho de otro modo, debe estar en posición de seccionamiento para poder cerrar el interruptor.
- El cierre del seccionador de puesta a tierra sólo es posible con el interruptor abierto, dicho de otro modo, debe estar en posición de seccionamiento para poder cerrar el seccionador de puesta a tierra.
- La apertura del panel frontal de acceso al compartimento donde se hallan las conexiones de los cables de MT sólo será posible cuando el seccionador de puesta a tierra este cerrado.

- Cuando esté el compartimento de acceso a los cables de MT abierto, lo que significa que el interruptor está abierto y el seccionador de puesta a tierra está cerrado, en este caso se permite abrir el seccionador de puesta a tierra para poder realizar el ensayo de aislamiento de los cables de MT.

A continuación, se explica el funcionamiento de los enclavamientos mecánicos de una celda de línea:

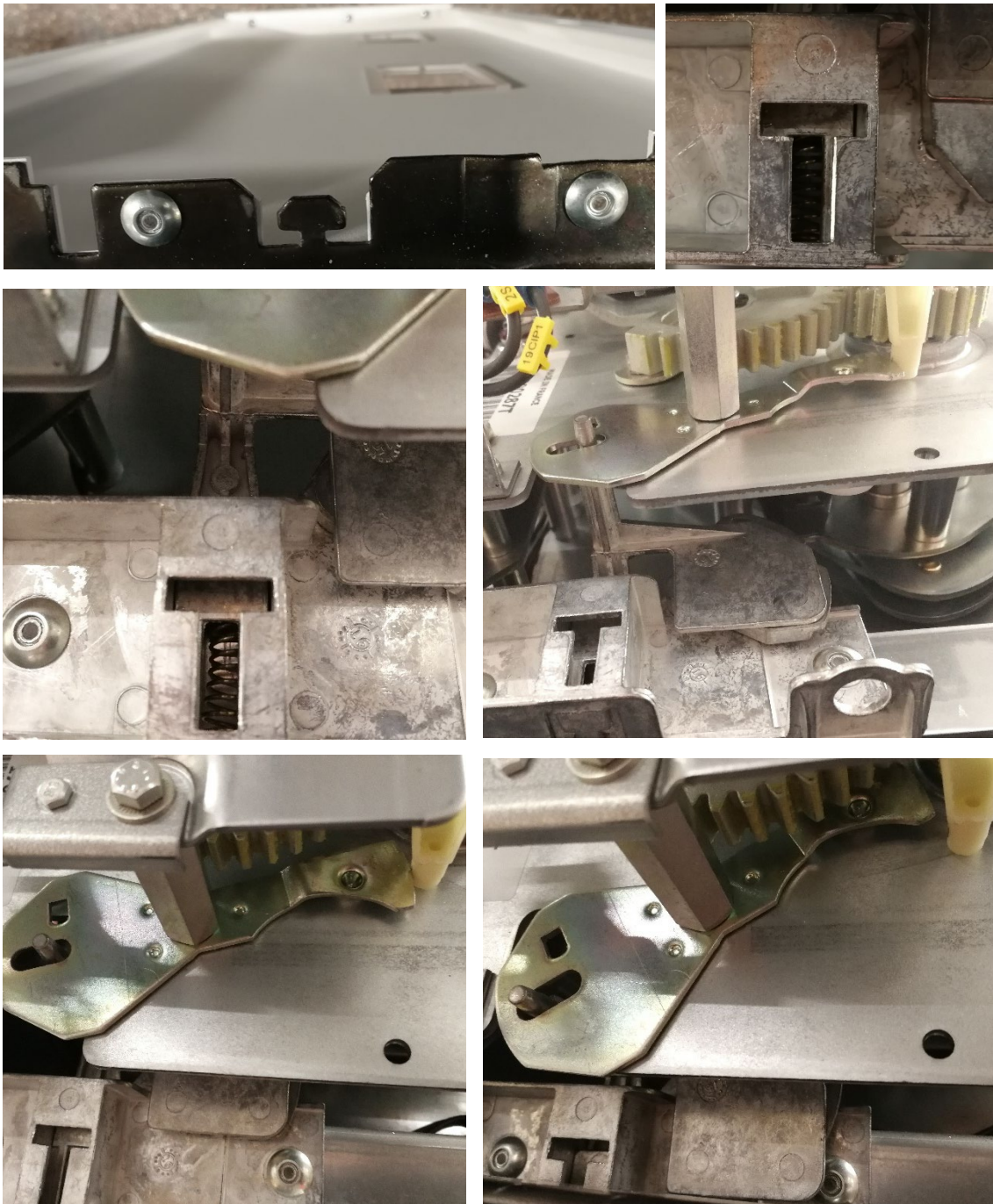


Ilustración 4.13 - Accionamiento del enclavamiento mecánico de la puerta frontal de acceso a los cables de MT, y el cambio del accionamiento la compuerta abierta o cerrada.

Esta pestaña situada en la parte superior trasera de la puerta de acceso al compartimento de conexión de los cables de MT encaja en la ranura que se puede observar en la anterior ilustración y por el propio peso de la puerta acciona un mecanismo, el cual mueve una serie de levas.

Estas levas tienen diversas funciones, una de estas es obstaculizar e impedir que físicamente se pueda introducir la manivela para realizar una operación indebida como es el caso de pretender cerrar el interruptor. Cabe decir, que como se ha comentado anteriormente, cuando la puerta de acceso al cajón de MT está abierta sí que se permite abrir el seccionador de puesta a tierra para un posible ensayo de aislamiento de los cables de MT. Una vez abierto, estando la celda en modo seccionada (interruptor abierto), si se intenta meter la manivela para realizar la maniobra no se puede, ya que hay una leva que lo impide.



Ilustración 4.14 - Detalle de la leva que impide insertar la manivela.

En la anterior ilustración de detalle, se observa como efectivamente hay una leva que impide la inserción de la manivela para realizar una maniobra, y a su vez, se puede observar como hay un final de carrera el cual es accionado por la misma leva.

Ahora bien, en el momento en que dichos enclavamientos se probaron físicamente en el laboratorio, se descubrió que no eran tan fiables. En el momento en que se tiene la puerta de acceso a los cables de MT abierta y ya se ha abierto el seccionador de puesta a tierra, si con una herramienta se acciona hacia abajo el mecanismo de la Ilustración 4.13, es como si estuviera la tapa frontal puesta. Cuando se fuerza el mecanismo una vez, no es necesario aguantarlo, si no que se puede soltar y permite proceder al cierre del interruptor.

Es más, se puede abrir y cerrar el interruptor las veces que uno quiera, ya que mientras no se vuelva a cerrar el seccionador de puesta a tierra no se activa el mecanismo del enclavamiento mecánico.

Cabe decir, que si se quiere cerrar la tapa que da acceso a los cables de MT, debe estar cerrado el seccionador de puesta a tierra, de lo contrario no cierra; cosa normal ya que, no está pensado para funcionar de esta forma.

En definitiva, el sistema de enclavamientos no es óptimo. El CT objeto de este estudio es didáctico y solo puede haber una tensión de 400 V, y por lo tanto ya está bien que se pueda forzar el enclavamiento, no obstante, para los CT de uso corriente se debería corregir este fallo de seguridad.

Otro tipo de enclavamientos mecánicos que ofrecen las celdas SM6 de Schneider son los enclavamientos por cerradura y llave. En el caso de la celda de línea de un CT didáctico, la llave sólo se puede sacar cuando se ha abierto el seccionador de puesta a tierra. De hecho, una vez el seccionador de puesta a tierra abierto esta misma llave se puede sacar y utilizar para desenclavar el interruptor que alimenta al CT. De esta forma se asegura que no se pueda poner a tierra y en cortocircuito la celda de línea cuando el CT está siendo alimentado a través de esta.

4.1.2.2. Enclavamientos Eléctricos

Los enclavamientos eléctricos cumplen la misma función que los enclavamientos mecánicos, pero como sus propios nombres indican, unos afectan a la instalación correspondiente impidiendo una acción de forma mecánica o bien de forma eléctrica.

En el punto anterior se definen como los enclavamientos mecánicos impiden por ejemplo insertar una manivela para realizar una maniobra, y normalmente son visibles a simple vista. Por otro lado, los enclavamientos eléctricos no son apreciables a simple vista, ya que estos impiden la ejecución de una orden dada desde un punto que no es la propia celda de línea.

Se puede resumir que un enclavamiento eléctrico es el hecho de impedir una orden que no debe ser ejecutada bajo unas circunstancias concretas por motivos de seguridad.

En la Ilustración 4.14, se muestra como a la vez que se acciona un enclavamiento mecánico, este a su vez acciona un sensor. Este sensor pertenece a un enclavamiento eléctrico, el cual cumplirá la misma función que el mecánico, pero de forma no física (mecánica) en la celda.

A todo esto, los enclavamientos eléctricos principales que existen de fábrica una celda de línea son los siguientes:

- Si el seccionador de puesta a tierra está cerrado no se puede ejecutar ninguna maniobra de forma automatizada. Primero se debe abrir este de forma manual.
- Si la manivela o palanca de maniobra esta insertada en el orificio de mando del interruptor-seccionador, no se está permitido abrir o cerrar el interruptor-seccionador de forma automática, primero debe retirarse dicha palanca.
En efecto este mecanismo se puede apreciar en la Ilustración 4.15.
- Si la manivela o palanca de maniobra esta insertada en el orificio de mando del seccionador de puesta a tierra, no se está permitido abrir o cerrar el interruptor-seccionador de forma automática, primero debe retirarse dicha palanca.
- Existe un contacto de enclavamiento por cerradura, pero no existe cerradura, simplemente está preparado para añadir una cerradura. Conviene destacar que del modo en que está montado físicamente dicho contacto (final de carrera), si la celda sufre algún golpe o daño lo sumamente agresivo para moverlo actuará y no dejará ejecutar ninguna maniobra de forma automática o no presencial, y obligará a ir *in situ* a comprobar el buen estado de la celda. Dicho enclavamiento se ilustra en la Ilustración 4.16.

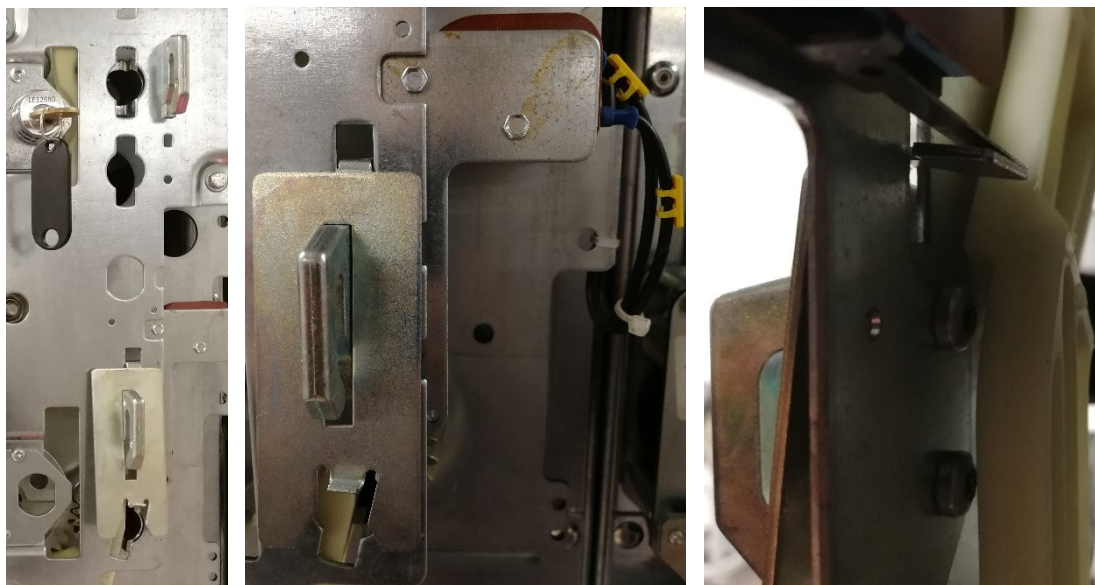


Ilustración 4.15 - Detalle del mecanismo del enclavamiento eléctrico que se acciona en el caso de que esté la palanca de maniobra en el orificio de mando.

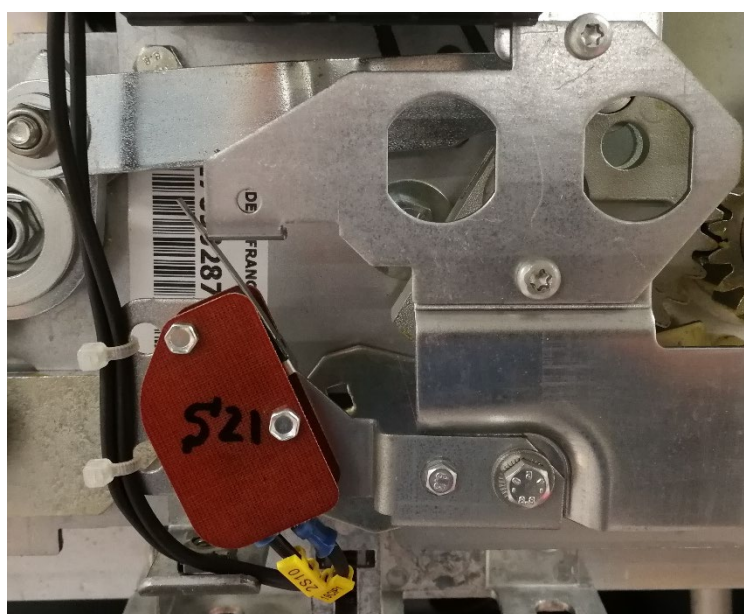


Ilustración 4.16 - Enclavamiento por cerradura o de seguridad mecánica.

Los enclavamientos eléctricos se podrán apreciar mejor en el esquema de celda de línea de la colección de esquemas funcionales del CT F001, allí se puede ver y comprobar su funcionamiento.

Para finalizar este punto, hacer referencia en que se añadirán más enclavamientos eléctricos a medida que se vaya desarrollando el proyecto, ya que se añadirán más elementos de los existentes y se pretenderá dar más seguridad a la instalación.

4.2. Celda de Seccionamiento y Remonte

La celda de seccionamiento es mediante la cual se deja fuera de servicio la zona del CT propiedad del cliente, dejando que otros CT puedan ser alimentados desde este por medio de las celdas de línea.

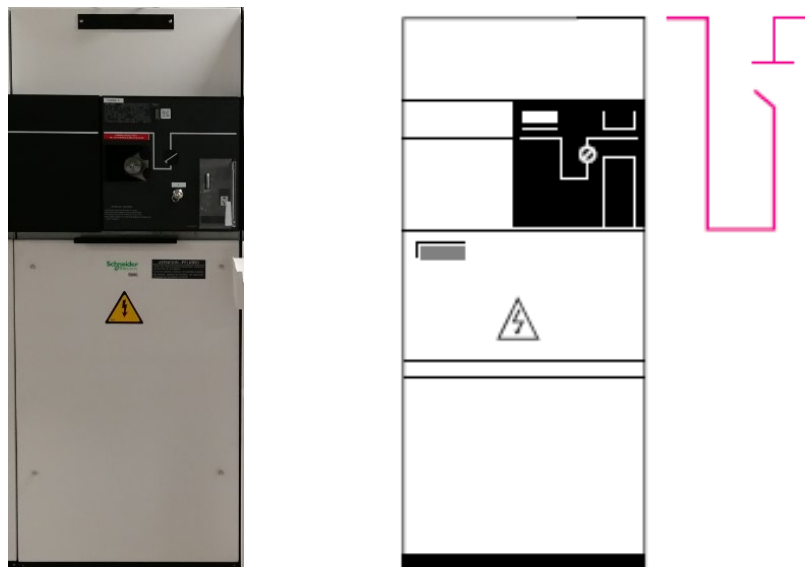


Ilustración 4.17 - Celda de seccionamiento y remonte. SSME16.

En la imagen anterior, se puede apreciar la apariencia física de una celda de seccionamiento y remonte. En la parte derecha de dicha imagen, se muestra cómo es su simbología

Esta es una celda simple en comparación a las otras y está provista de un seccionador en atmósfera de SF_6 y unas barras de remonte al aire. A continuación, se especifica en más detalle.

4.2.1. Componentes Interiores

4.2.1.1. Seccionador

Esta celda como su propio nombre indica contiene un seccionar. Este está en el interior de un encapsulado con una atmósfera de SF_6 al igual que el interruptor-seccionador, de hecho, son prácticamente iguales vistos desde fuera. La diferencia que existe entre ellas es el mecanismo de apertura/cierre. En el caso del interruptor está formado por un resorte para aportar una rapidez de movimiento para que extinga el arco eléctrico que se forma en su interior, en cambio, en el caso del seccionador no es requerido este resorte. El porqué es simple, el seccionador si se remonta a su definición, es un dispositivo de cierre o apertura de un circuito, pero siempre en vacío. Por lo tanto, al realizar las maniobras en vacío no es necesario que estas se ejecuten a gran velocidad, puesto que no existirá arco eléctrico alguna a extinguir en su interior.

La función del seccionador es la de separar dos circuitos con una distancia de seccionamiento (separación). Esta función es necesaria para cumplir con la primera de las reglas de oro de la seguridad en los trabajos sin tensión en instalaciones de MT.

Es capaz de abrir o cerrar un circuito interrumpiendo o estableciendo el paso de la corriente, siempre y cuando esta no sea de un valor superior a 0,5 A, valor prácticamente despreciable.

Debe poder abrir o cerrar un circuito estableciendo o interrumpiendo el paso de la corriente de un valor determinado no despreciable siempre y cuando, no se produzca por ello cambio alguno apreciable de tensión en los bornes de cada uno de sus polos.

En definitiva, como se comenta anteriormente, en los CT de cliente su función más habitual es la de mantener una distancia de seccionamiento cuando la ocasión lo requiera.

4.2.1.2. Bornes de Conexión

El cajón de BT de la celda de seccionamiento y remonte es relativamente simple. De hecho, solo contiene un bornero con unas pocas bornas. Esto se explica por el hecho de que el seccionador cumple la función de seccionar cuando no existe tensión entre sus bornes, por lo tanto, no son necesarios los enclavamientos eléctricos.

Las bornas pertenecen a los sensores o finales de carrera que en este caso sólo dan información de en qué posición se encuentra el seccionador, si está abierto o si bien está cerrado.

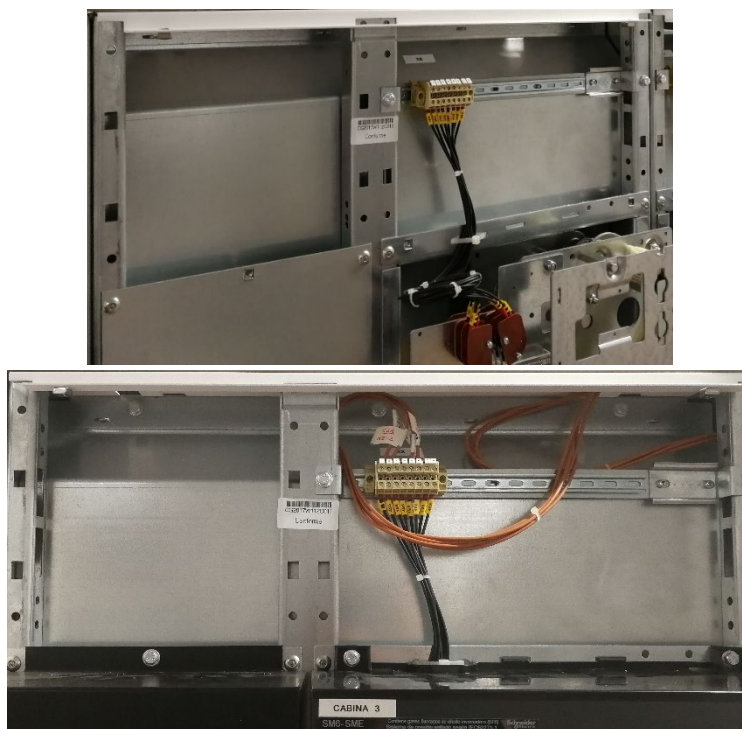


Ilustración 4.18 - Cajón BT de la celda de seccionamiento y remonte.

4.2.1.3. Enclavamientos

Como se menciona el punto anterior, esta celda no es necesario que disponga de enclavamientos eléctricos, pero algún enclavamiento mecánico si es necesario y, de hecho, ya están incorporados.

En este caso no se trata de un enclavamiento mecánico que no permita abrir el panel frontal que da acceso a la zona activa de MT, ya que este solo va fijado con tornillos y se pueden abrir en cualquier momento, algo que no es muy seguro en las instalaciones no didácticas.

El caso es que el único enclavamiento que contiene esta celda es el de la llave. Esta llave es necesaria para cerrar el disyuntor de la celda de protección, por lo tanto, una vez cerrado el seccionador se debe quitar la llave para poder dar tensión al transformador. Ahora bien, para abrir el seccionador también es necesario que la llave esté puesta y así desenclavar el enclavamiento, por lo tanto, obliga a abrir el disyunto y dejar sin tensión la instalación. De este modo se asegura las maniobras en el seccionador siempre se realicen en vacío.

4.2.1.4. Barras de Remonte

La celda de remonte sirve para acometer a un embarrado de MT, bien desde otro centro o bien porque la salida de la celda anterior o la entrada de la siguiente es a distinto nivel de barras.

En este caso se necesita que la celda aparte de ser de seccionamiento también sea de remonte. Este hecho se debe a que la salida del seccionador es por la parte inferior, y la entrada en la siguiente celda (celda de protección) es por la parte superior. Por lo tanto, se necesita que las barras de MT hagan un remonte, no tiene más función que esa.

Cabe decir que la parte del remonte es al aire e implica un uso de espacio grande, el que equivaldría a una celda de línea, por ejemplo.

4.3. Celda de Protección por Interruptor Automático

La celda de protección por interruptor automático de corriente alterna MT es la encargada de proteger la instalación tanto de MT como de BT, aunque opera en la zona de MT. Se encarga de cortar el suministro al transformador de MT/BT en casos excepcionales de disparo de protecciones. A su vez, es la encargada de establecer, soportar e interrumpir el paso de corriente en condiciones normales o anormales hacia el transformador, tales como cortocircuitos.

Habitualmente y a lo largo de este trabajo, en ocasiones se substituye el término interruptor automático por disyuntor, muy usado en ingeniería, aunque las eléctricas también lo suelen llamar automático.

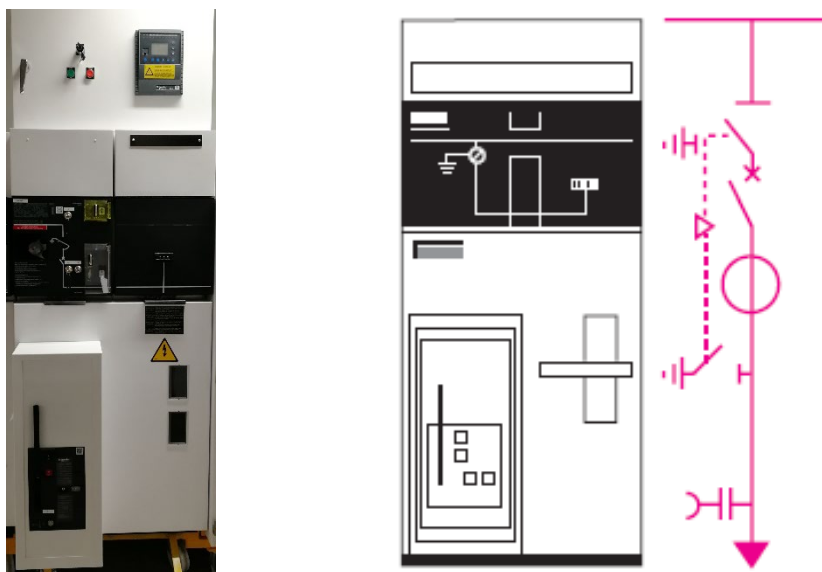


Ilustración 4.19 - Celda de Protección SDM1D16M.

En la imagen anterior, se puede observar la apariencia de una celda de seccionamiento y protección. En la parte derecha de dicha imagen, se muestra su simbología

Es la celda más compleja de la que dispone el CT. Está provista de un seccionador de puesta a tierra en atmósfera SF₆, un interruptor automático, también en atmósfera SF₆, un relé de protección (SEPAM), un selector para las posiciones local/remoto y un par de pulsadores para maniobrar eléctricamente el disyuntor.

Para que se aprecien las partes más representativas se adjunta la siguiente imagen:

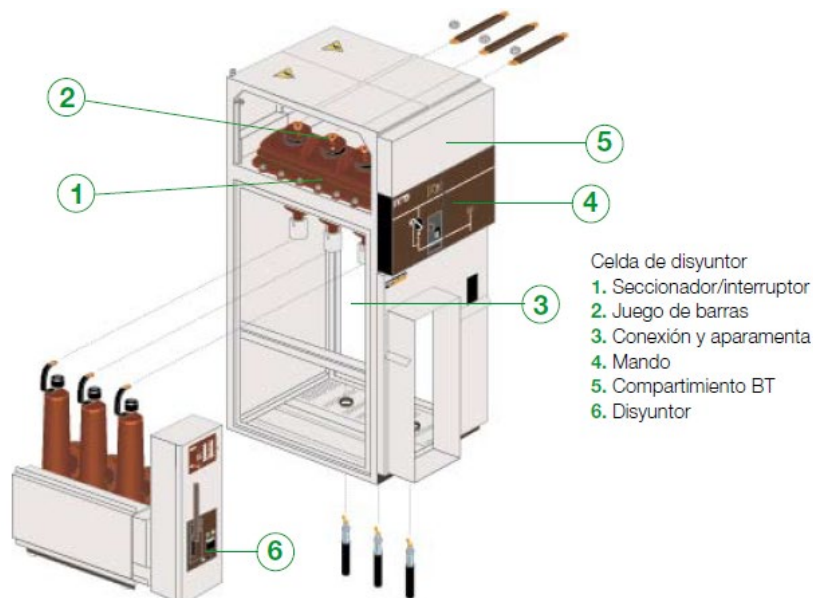


Ilustración 4.20 - Croquis de una celda de protección por interruptor automático [5].

4.3.1. Componentes Interiores

4.3.1.1. Bornes de Conexión y Sensores

En la parte superior de la celda, en el interior del compartimento BT se ubican las regletas de bornes, las cuales tienen por finalidad permitir la conexión con el exterior de la celda sin tener que llegar a manipular el cableado interno de la misma. Las bornas X7 corresponden a la parte de control del mecanismo de la celda y las bornas X8 corresponden a los estados de posición del seccionador.



Ilustración 4.21 - Cajón de BT de la celda de protección (bornas X8 a la izquierda y bornas X7 a la derecha).

Destacar que la anterior Ilustración 4.21, la foto se tomó una vez implementada la automatización, con lo cual en ella aparecen cableados varios conductores que en un principio no existían.

Analizando la ilustración anterior, se afirma que desde las bornas X7 se alimenta, controla y señala el disyuntor. En las bornas X8, las cuales pertenecen a la señalización del seccionador, disponen de un total de 4 finales de carrera para señalar el estado del mismo.

4.3.1.2. Interruptor Automático (Disyuntor)

Es un interruptor tripolar para red trifásica sin conductor de neutro (número 6 de la Ilustración 4.20), ya que en las líneas de MT no existe un neutro. Dicho interruptor contiene un mecanismo de accionamiento único para las tres fases. Cada polo tiene todas sus partes activas en el interior de una envolvente estanca, estanca, de material aislante y rellena de SF₆ a una presión relativa de 0,5 bar. Este sistema garantiza la seguridad de operación.

Funciona mediante un mecanismo de accionamiento por acumulación de energía mediante resortes. Esta energía es liberada en una operación continuada de forma que la velocidad de cierre o de apertura y su fuerza, son tales que permitan garantizar un poder de cierre y corte de maniobra en condiciones normales y anormales tales como un cortocircuito.



Ilustración 4.22 - Mecanismo de disparo y carga de resortes [6].

La carga de los resortes se puede conseguir de dos formas, eléctricamente gracias a un motor de corriente alterna o bien de forma manual mediante una palanca situada en la parte frontal de disyuntor. Esta última forma es necesaria para los posibles momentos en que no haya suministro de BT y se precise el cierre del interruptor. Véase Ilustración 4.22.

Una de las partes fundamentales de los interruptores automáticos de MT son los llamados disparadores, los dispositivos que liberan los resortes acumuladores de energía permitiendo así el cierre o la apertura. Dispone de dos tipos de disparadores, los mecánicos y los electromecánicos. Los mecánicos son simplemente unas levas las cuales al pulsa el pulsador del frontal del disyuntor se mueven y actúan liberando a los resortes. Los electromecánicos hacen lo mismo, pero a través de un electroimán, el cual se controla a distancia. En este caso conviven los dos mecanismos de disparadores.

Al tratarse de corriente alterna a 50 Hz, la intensidad pasa por cero 50 veces por segundo. Con lo que a cada paso por cero el arco se apaga, y el objetivo del interruptor es evitar que se restablezca de nuevo. Por ello se utiliza un eficaz principio de corte del arco eléctrico.

El principio de corte utilizado por este interruptor, gracias a las excepcionales cualidades del SF_6 , es el principio de autocompresión del propio SF_6 . Las cualidades intrínsecas del gas y las propiedades del mecanismo del interruptor consiguen enfriar y extinguir el arco eléctrico que se forma en su interior de forma rápida y segura.

En el movimiento de apertura el pistón provoca una ligera compresión del SF_6 en la cámara de compresión. Seguidamente aparece el arco eléctrico, y una pequeña cantidad de gas, canalizada por la tobera, es inyectada sobre el arco. El enfriamiento del arco se efectúa por convección forzada para completa efectividad.

En la siguiente imagen se muestran las fases por las que pasa el interruptor en la fase de apertura.

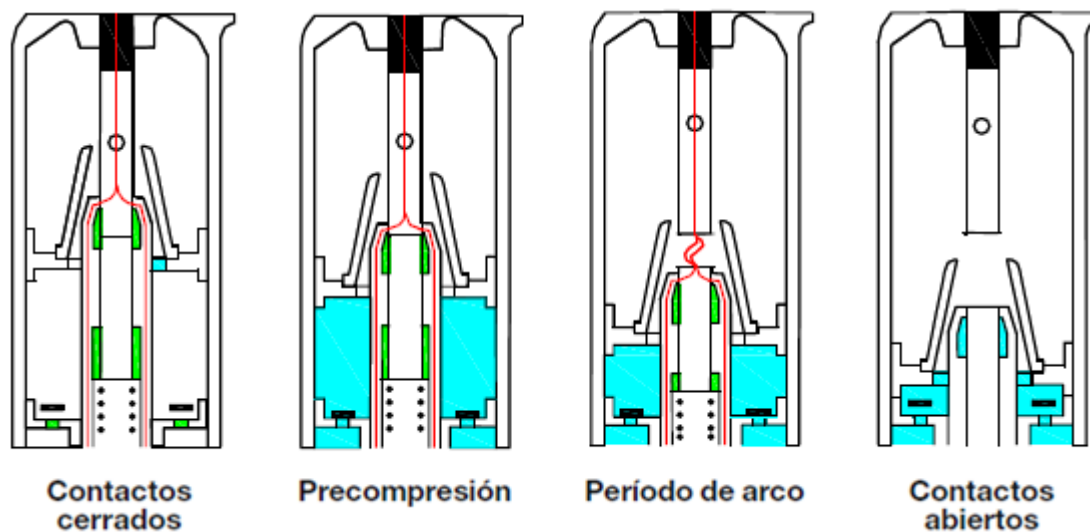


Ilustración 4.23 - Detalle del principio de funcionamiento del interruptor automático [7].

4.3.1.3. Seccionador de Puesta a Tierra

Este tipo de interruptores automáticos cuando están en la posición de abierto no establecen un corte visible de seccionamiento, por lo tanto, siempre encontraremos un seccionador en serie a ellos.

En este caso es un seccionador de puesta a tierra, el cual garantiza la seguridad en caso de mantenimiento o reparaciones en el CT.

Esta encapsulado en una atmósfera de SF_6 y tiene el mismo principio de funcionamiento que los seccionadores de las otras celdas anteriormente comentadas.

4.3.1.4. Transformadores de Intensidad

El interruptor dispone de tres transformadores de intensidad (TI) toroidales situados uno en cada uno de los bornes de conexión de las tres fases.

Estos TI son utilizados por la SEPAM, el relé de protección que esta celda lleva incorporado.

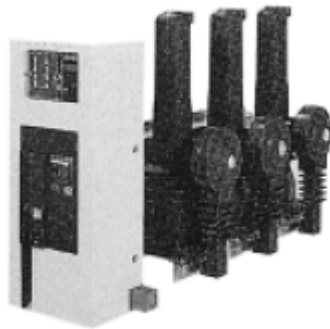


Ilustración 4.24 - Detalle del interruptor automático con sus toroidales asociados [1].

4.3.2. Enclavamientos

4.3.2.1. Enclavamientos Mecánicos

Responden a la norma internacional IEC 60298 y a su correspondiente norma UNE-EN 60298, las cuales dicen que los enclavamientos deben producirse de la siguiente forma:

- El cierre del seccionador sólo es posible si el interruptor automático está abierto y el panel frontal de acceso a él está cerrado.
- La apertura del panel de acceso al compartimento donde se halla la aparamenta de MT sólo será posible si:
 - El interruptor automático está abierto y enclavado.
 - El seccionador está abierto.
 - El seccionador de puesta a tierra está cerrado y, por tanto, conectado a tierra.
- El cierre del seccionador sólo es posible si el seccionador de la celda de seccionamiento esta cerrado (enclavamiento por llave).
- El cierre del interruptor sólo es posible si el seccionador de la propia celda esta cerrado (enclavamiento por llave).

4.3.2.2. Enclavamientos Eléctricos

Los enclavamientos eléctricos principales que existen en una celda de protección son los siguientes:

- Si el seccionador está abierto no se puede ejecutar ninguna maniobra de forma automatizada. Primero se debe cerrar este de forma manual e introducir la llave en el disyuntor.
- Si los muelles no están cargados no se permite la maniobra automática, se deben cargar de forma manual con ayuda de la palanca. Cabe decir que la carga de los muelles dura para dos maniobras y que por lo tanto siempre está lista para la maniobra de apertura, no así para la de cierre.

4.3.3. SEPAM (Relé de Protección)

El relé SEPAM tiene por función la de proteger la instalación y en concreto el transformador de potencia. Estos relés son adecuados para CTs, subestaciones transformadoras, subestaciones generadoras, barras, motores...

A parte de proteger, va conectada a los transformadores toroidales de intensidad de los que dispone el interruptor automático. Esto sirve para proteger, para medir y para monitoreo.



Ilustración 4.25 - Detalle de la SEPAM.

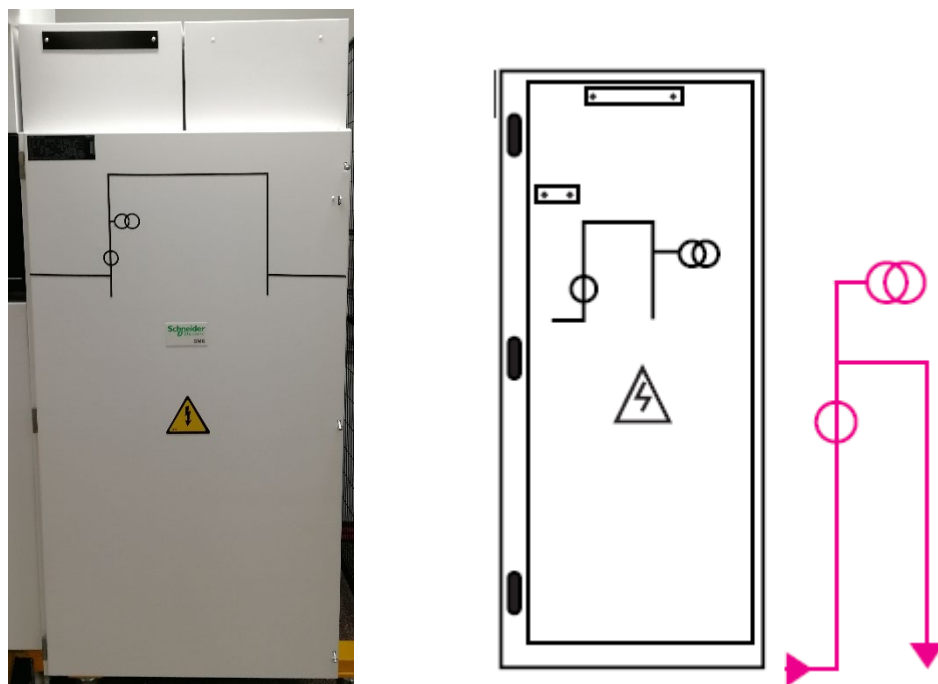
Dispone de un display gráfico, de 16 curvas de tiempo inverso para sobrecorrientes, de registro oscilopertugrafico, diagnóstico...

Y para su configuración, los protocolos que utiliza son DNP3.0, IEC 60870-5-103 y IEC61850.

4.4. Celda de Medida

En los CT de cliente es necesario poder medir el valor de la tensión de la corriente, bien sea para mantener un control de estas o bien para vigilar que dichos valores estén dentro de los márgenes admisibles para la seguridad de la instalación. Ahora bien, el motivo más significativo es el de contaje y medida de consumo por el cual la compañía suministradora facturará la energía consumida.

La conexión de los aparatos de medida y contaje directamente en la línea es posible hasta unos ciertos niveles de tensión y corriente. Por ese motivo, en las celdas de medida, al ser de MT y por lo tanto con unos altos niveles de tensión y corriente, los aparatos de medida deben recibir los valores adaptados a sus capacidades. Para adaptar estos valores se usan los transformadores de intensidad y de tensión para medida y protección.



Il·lustració 4.26 - Celda de Mesura. ISEFSGBC2C3316 de 3 TT y 3 TI.

Por lo tanto, el objeto de la celda de medida es albergar a los transformadores de medida de tensión e intensidad para poder alimentar a los aparatos de medida, contaje y protección en unos valores de tensión e intensidad suficientemente pequeños para que no sea peligroso para los propios aparatos ni para las personas.

En las siguientes imágenes se puede observar el interior de la celda de medida, sus transformadores de tensión e intensidad y sus conexiones. Los de la izquierda de la foto son los TI y los de la derecha son los TT. Se puede comprobar por su placa de características o bien por la forma en que están conectados a la línea de MT.

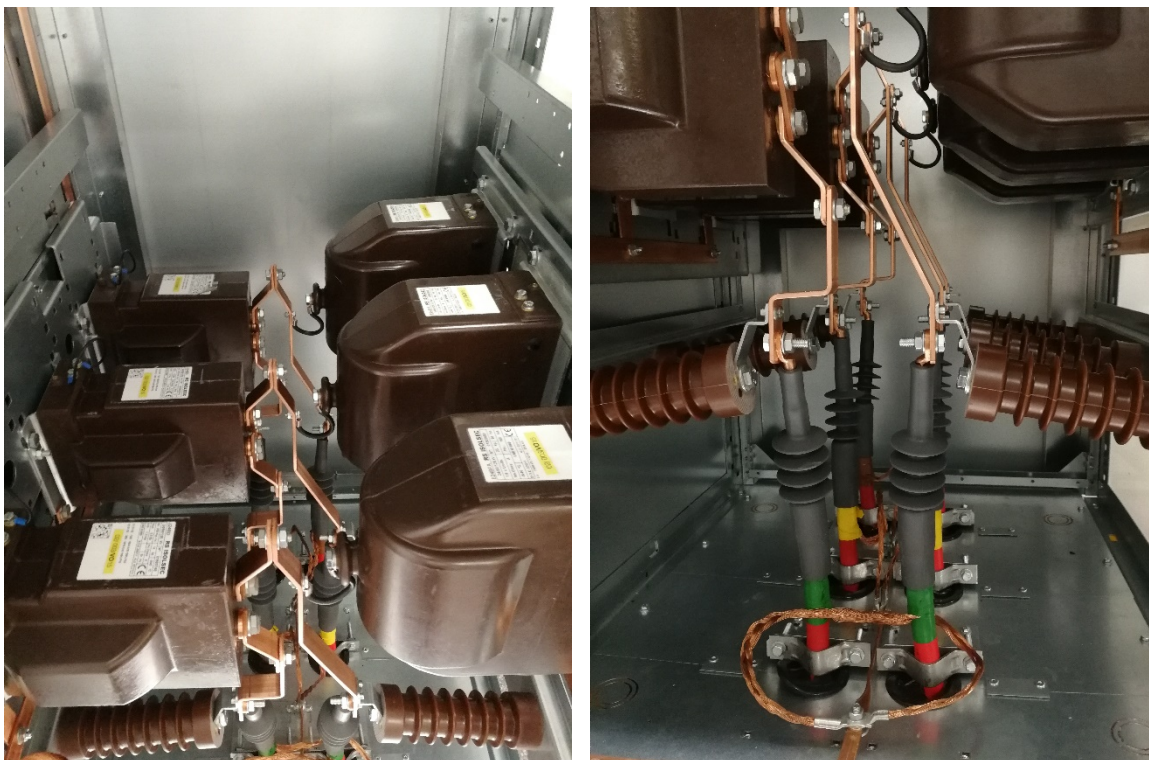


Ilustración 4.27 - TTs y TIs del interior de la celda de medida.

4.4.1. Transformadores de Intensidad (TI)

4.4.1.1. Conexión

Los transformadores de intensidad se conectan en serie con la línea, es decir, toda la intensidad que circula por esta atraviesa el primario de los TI.

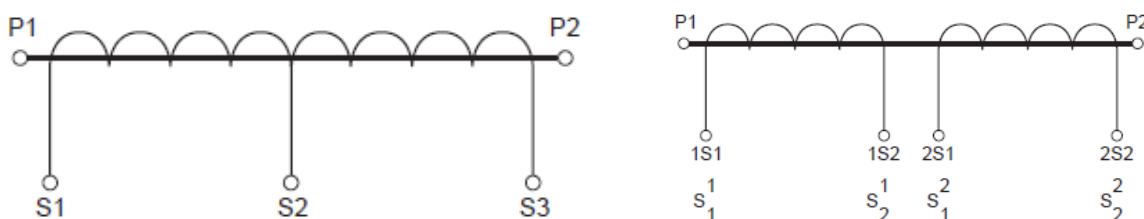


Ilustración 4.28 - Esquemas de TI más comunes según sus arrollamientos [1].

Al representar los TTs en esquemas, se indica el arrollamiento primario con las letras P1 y P2 y los secundarios con las letras S. La numeración de los secundarios dependerá del número de estos que exista. Por razones de seguridad, siempre se debe conecta a tierra uno de los bornes de cada secundario.

4.4.1.2. Características Nominales

Se clasifican a los TI según su número de arrollamientos secundarios, según su precisión, su funcionalidad, su frecuencia nominal, su valor de tensión nominal...

En la siguiente ilustración se muestra la placa de características de los TI de la celda de medida del CT:

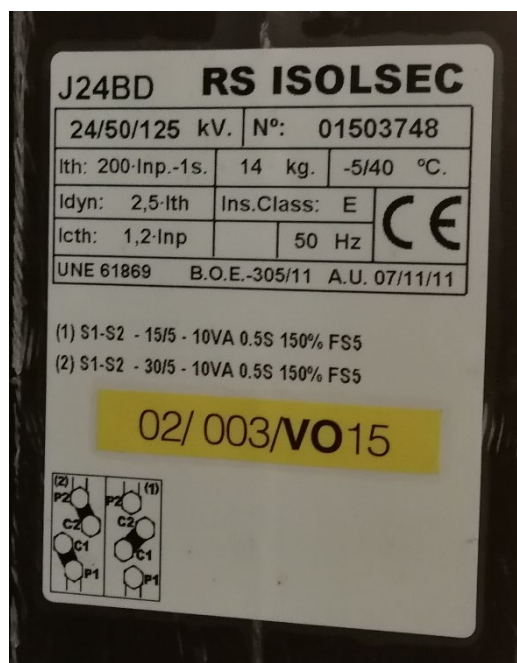


Ilustración 4.29 - Placa de características de los TIs.

De la placa se deduce que son TIs de dos secundarios, son de una potencia de 10 VA, la precisión es de 0.5S, entre otras características.

4.4.2. Transformadores de Tensión (TT)

4.4.2.1. Conexión

Los transformadores de tensión se conectan a la línea en derivación (paralelo). De hecho, su primario está sometido a la completa tensión de la línea.

Al igual que los Ti, cuando se representan los TTs en esquemas, se indica el arrollamiento primario con las letras P1 y P2 y los secundarios con las letras S. La numeración de los secundarios dependerá del número de estos que exista. Y siempre, por razones de seguridad, se debe conecta a tierra uno de los bornes de cada secundario.

Los esquemas típicos de conexión según sus arrollamientos son los siguientes:

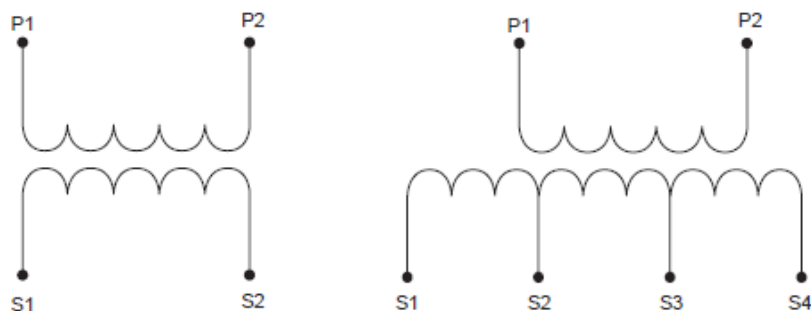


Ilustración 4.30 - Esquemas de TT más comunes según su número de arrollamientos [1].

4.4.2.2. Características Nominales

Los transformadores de tensión se pueden clasificar según su sensibilidad, cosa que dependerá de cuál sea su aplicación, medida o protección. En este caso son para medida.



Ilustración 4.31 - Placa de características de los TTs.

De la imagen anterior se puede apreciar el nivel de tensión, la potencia (25 VA), la precisión (0.5), la clase (A), entre muchos otros datos. Los anteriores nombrados son los más relevantes.

4.5. Celda de Transformación

La celda de transformación es la que contiene el transformador de MT/BT, conocido como transformador de distribución. La mayoría de los transformadores de distribución usados hoy en día son de baño de aceite de llenado integral.

4.5.1. La Celda

La envolvente de la celda en este caso es una valla de seguridad, la función de esta no es más que la de proteger a las personas de un posible contacto directo o del posible cebado de un arco por proximidad con los bornes de MT.

En la siguiente imagen se puede apreciar dicho vallado de seguridad.



Ilustración 4.32 - Celda de transformación.

4.5.2. El Transformador

Tal y como se ha comentado anteriormente, el transformador es de baño de aceite de llenado integral. Comparado con otros métodos de fabricación, el llenado integral del depósito es el método que garantiza una menor degradación del líquido aislante y refrigerante, gracias a que no están en contacto directo con el aire. Por lo tanto, al no existir aire en su interior se impide la oxidación y la degradación del líquido aislante.

Uno de los elementos más característicos es la cuba, o también llamada cuba elástica formada de chapa de acero. Posee aletas por todos sus laterales las cuales permiten disipar mejor el calor del líquido refrigerante. Se le llama cuba elástica porque al calentarse mucho, son estas aletas las que se deforman para adaptarse a la dilatación del refrigerante.



Ilustración 4.33 - Croquis de un transformador de aceite.

4.5.3. Tensiones

Al ser un transformador de un CT didáctico, por el primario recibe 400 V y por el secundario se obtienen 400 V, de modo que la relación de transformación en este caso es de 1:1. Ahora bien, los transformadores didácticos de aceite permiten ser modificados para que se puedan realizar con ellos los ensayos y las operaciones que se consideren pertinentes.

4.5.4. Partes Exteriores

Posee un conmutador de 5 posiciones para regulación. Está situado en la parte superior, en la tapa y es maniobrable sin tensión. Sirve para adecuar la tensión de salida en función de la posible caída de tensión que pueda sufrir esta hasta el punto consumo medio.

A parte encontramos:

- 3 bornes MT.
- 4 bornes de BT (3 fases + neutro)
- Placa de características
- Orificio de llenado con rosca
- Orificio de vaciado y toma de muestras
- 4 ruedas orientables
- Tomas de tierra situadas en la parte inferior
- Las protecciones (más detalle a continuación)



Ilustración 4.34 - Detalles del transformador de potencia.

4.5.5. Grupo de Conexión

El grupo de conexión o también llamado índice horario normalizado es $\Delta Yn11$, es decir, el primario de MT conectado en triángulo y el secundario en estrella. Es el grupo de conexión estándar porque permite obtener un neutro en BT y en cambio en MT solo viajan las tres fases. Las ventajas son claras, el ahorro del neutro en la fase de distribución y la posibilidad de obtener 400 V entre fases en BT o 230 V entre fase y neutro.

El desfase entre la tensión primaria y la secundaria es de 330° .

4.5.6. Protecciones Propias del Transformador

Para mantener la seguridad constante del transformador de distribución, este lleva integrado un relé de protección. Dicho relé tiene las siguientes funciones integradas:

- Detección de gases provenientes del líquido dieléctrico debido a su descomposición provocada por exceso de calor o arco eléctrico producido en el interior de la cuba. Función de disparo (Buchholz).
- Detección de un aumento excesivo de presión en el interior de la cuba. Función de disparo (Sobrepresión).
- Detección de un aumento excesivo de la temperatura en el interior de la cuba. Función de disparo y alarma (Temperatura).
- Visualizador de temperatura por medio de un termómetro.
- Visualizador de líquido por medio de un flotador.

Seguidamente se exponen imágenes de detalle del dispositivo de protección:

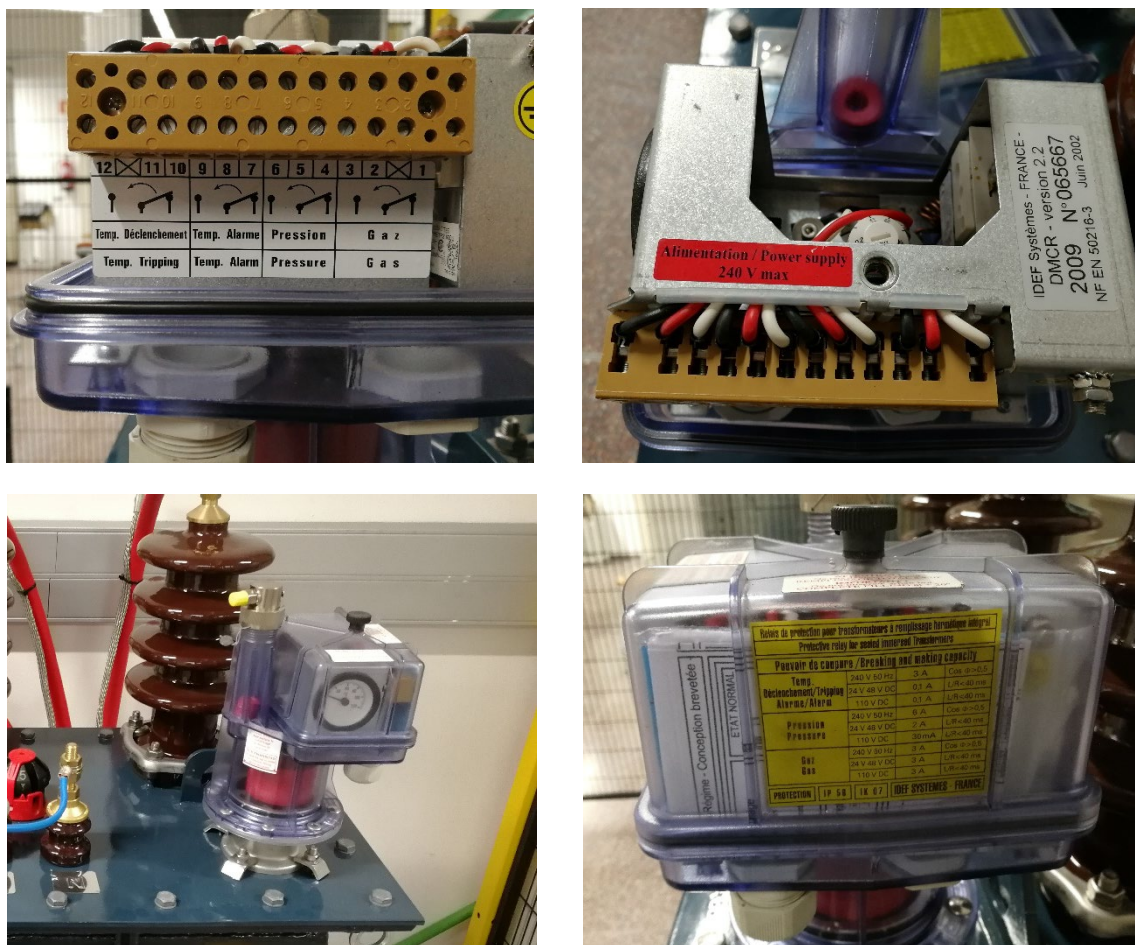


Ilustración 4.35 - Detalle de las protecciones propias del trafo.

5. Automatización del Centro de Transformación

Una de las partes principales del presente trabajo es la automatización del CT de cliente didáctico que existe en la EEBE, concretamente en el laboratorio de instalaciones eléctricas de alta y baja tensión.

Una vez documentadas y estudiadas las celdas que lo componen, se elaboró una lista de las órdenes o maniobras que se podían automatizar de cada una de las celdas. A sí mismo, también se incluyeron en dicha lista todas las señales que se pudieran necesitar o que fueran de interés a la hora de implementar un autómatas y una pantalla táctil.

Aunque en este punto no se hable del autómatas propiamente dicho, ya se deben tener en cuenta algunas particularidades, ya que, esta fase del trabajo tiene por objetivo la elaboración de los esquemas, tanto de implantación, como los funcionales y los de conexonado. Por esta razón, se deben cablear estas señales hasta el armario de control y protección (ACP) situado en la parte superior de la celda de protección.

5.1. Señales y Maniobras a Automatizar

Se realiza una explicación y una lista de cables por celda, a excepción de las celdas de línea las cuales son iguales y por lo tanto una lista servirá para las dos. Todos los cables de todas las celdas irán dirigidos al armario de control y protección.

5.1.1. Celdas de Línea

De las celdas de línea interesa conocer el estado del interruptor-seccionador y del seccionador de puesta a tierra, y como se ha documentado en el anterior punto, dado que está dotada de motor, interesa poder realizar las maniobras de abrir y cerrar el interruptor-seccionador de forma automática aparte de manual.

De forma que la lista de conductores a instalar, que deberán ir desde las celdas de línea hasta el ACP es la siguiente:

1. Alimentación (Neutro)
2. Alimentación (Fase)
3. Común órdenes de cierre y apertura
4. Orden de apertura del interruptor-seccionador
5. Orden de cierre del interruptor-seccionador
6. Contacto NA de posición del interruptor-seccionador (común)
7. Contacto NA de posición del interruptor-seccionador
8. Contacto NC de posición del interruptor-seccionador
9. Contacto NC de posición del interruptor-seccionador (común)

10. Contacto común de posición del seccionador de puesta a tierra
11. Contacto NC de posición del seccionador de puesta a tierra
12. Contacto NA de posición del seccionador de puesta a tierra

Son un total de 12 conductores para cada una de las celdas de línea. Con ellos se asegura la automatización al completo de dichas celdas, tanto la parte del control local motorizado como la seguridad de obtener toda la información posible de ellas y poder transmitirla así al autómatas.

5.1.2. Celda de Seccionamiento y Remonte

Como ya se sabe de puntos anteriores, la celda seccionamiento y remonte no está motorizada y tampoco debe estarlo, ya que, es una medida de seguridad a la hora de dejar la instalación sin tensión. En cierto modo, es la forma idónea de asegurar que no se maniobre el seccionador en carga, aunque de por sí es prácticamente imposible porque está enclavado por una llave física que se debe sacar de la celda de protección para introducirla en la celda de seccionamiento y así poder realizar la maniobra.

La lista de cables a instalar en el CT que deberán ir desde la celda de seccionamiento y remonte hasta el ACP es la siguiente:

1. Contacto NA de posición del seccionador (común)
2. Contacto NA de posición del seccionador
3. Contacto NC de posición del seccionador (común)
4. Contacto NC de posición del seccionador

Suman un total de 4 conductores a cablear desde la celda de seccionamiento y remonte hasta el armario de control y protección.

5.1.3. Celda de Seccionamiento y Protección

En la celda de protección ya existen algunos elementos cableados, pero de todas formas hacen falta algunos más para la completa automatización.

Por lo tanto, la lista de los cables que deberán ir desde la celda de seccionamiento y protección hasta el ACP situado encima de esta es la siguiente:

1. Contacto NA de posición del seccionador (común)
2. Contacto NA de posición del seccionador
3. Contacto NC de posición del seccionador (común)
4. Contacto NC de posición del seccionador
5. Alimentación (Neutro)
6. Alimentación (Fase)
7. Negativo (Mando)

8. Positivo (Mando)
9. Orden de apertura del disyuntor (interruptor automático)
10. Orden de cierre del disyuntor (interruptor automático)
11. Contacto NA de indicación de muelles cargados

Son un total de 11 conductores los cuales deben existir para asegurar la correcta automatización de la celda, tanto la parte del control local motorizado como la seguridad de obtener la información suficiente y poderla transmitir al autómeta.

5.1.4. Celda de Transformación

En la celda de transformación existen las protecciones propias del trafo, las señales de las cuales deberían viajar hasta la SEPAM. La realidad es que ni si quiera están cableadas hasta el armario de control y protección, por lo tanto, se puede afirmar que el transformador no está protegido.

Ahora bien, se trata de un CT didáctico, con lo cual no se le aplica media tensión en sus bornes ni tampoco pasa una excesiva corriente a través de la máquina. Si bien no, al tratarse de un CT didáctico, con más razón debería estar bien realizado, de forma que se proyectará también la conexión de las protecciones propias del trafo.

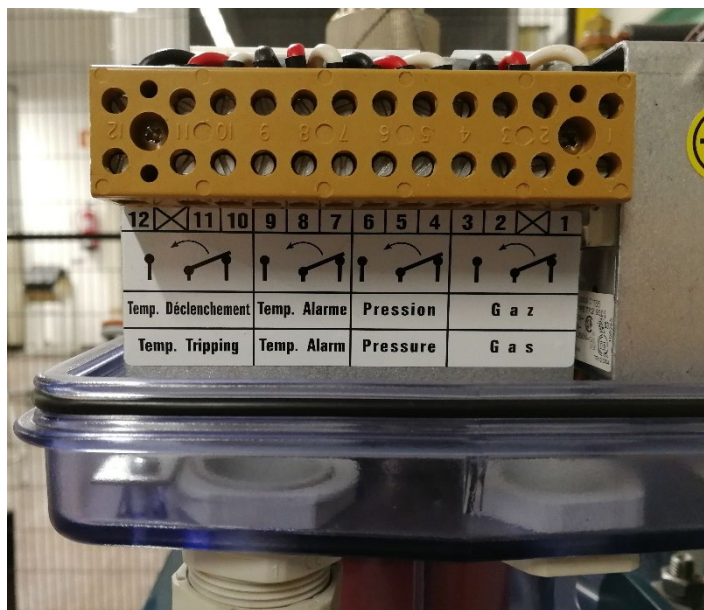


Ilustración 5.1 - Fotografía de las protecciones propias del trafo sin cablear.

En la imagen anterior, se ilustra cómo no están conectadas las protecciones en un origen.

De ahí que la lista de los cables que deberán ir desde la celda de transformación hasta el ACP, y de este a la SEPAM ubicada en su interior es la siguiente:

1. Positivo de señal (+S)
2. Disparo por Buchholz (Gas)
3. Disparo por sobrepresión
4. Alarma de temperatura
5. Disparo por temperatura

Un total de 5 conductores los cuales viajarán hasta el ACP y de este a la SEPAM, de tal forma que esta pueda disparar el disyuntor cuando sea necesario.

5.2. Tipos de Esquemas

Un esquema eléctrico es una representación gráfica de una instalación eléctrica o bien parte de ella, en la que quedan definidos cada uno de los componentes que la componen [8].

Los esquemas eléctricos se deben representar con los símbolos estandarizados conforme a la Norma UNE-EN 60617-7.

En la definición de esquema eléctrico especifica que en dichos esquemas deben quedar claros los elementos que lo componen y la interconexión entre ellos, ahora bien, en la práctica cuando se tiene esquemas complejos se suelen dividir en varios esquemas.

A continuación, se exponen los tipos de esquemas que se emplearán en el presente proyecto.

5.2.1. Esquemas Funcionales

Pretenden definir la estructura general de la instalación de forma que pueda ser interpretada por un ingeniero.

Los esquemas funcionales representan el circuito de una forma esquemática y simple para su rápida interpretación. En él se representan todos los elementos del circuito en líneas verticales comprendidas entre dos líneas horizontales, las cuales representan a los conductores de alimentación.

5.2.2. Esquemas de Conexión

Los esquemas de conexión están orientados a resolver problemas en la ejecución y, por lo tanto, su destinatario es el técnico electricista encargado de ejecutar la obra. No pretenden ser didácticos, ya que de ellos suele ser difícil interpretar el funcionamiento de la instalación. En cambio, definen de forma clara los aspectos básicos de la ejecución de la instalación.

Por ejemplo, en los esquemas funcionales encontramos varios elementos que salen de una misma alimentación, pero de ahí no se puede averiguar cuál es el verdadero recorrido de un positivo o de un negativo de alimentación. Sin embargo, en los esquemas de conexonado queda claro el bucle que realizan las alimentaciones.

5.2.3. Esquemas de Implantación o Explicativos de Emplazamiento

Los esquemas de implantación o explicativos de emplazamiento tienen por objetivo definir la ubicación física de los principales componentes de la instalación de la forma más precisa posible.

En estos esquemas no se emplea una simbología específica, sino que se representan los elementos de la forma más real posible.

Sirven por ejemplo para realizar las listas de materiales, para conocer una aproximación más exacta de los metros de cable que se deberán emplear...

5.3. Proceso de Automatización

5.3.1. Definición de la Automatización

La primera fase de la automatización de un proceso es su definición. Para poder realizar de forma correcta dicha definición, previamente en puntos anteriores se documentó y estudió el CT. Con ello ya podíamos tener una idea más concisa de la instalación.

Se pensó que sería buena idea realizar la automatización por duplicado, es decir, que el CT se pueda maniobrar de forma local (*in situ*) en el propio recinto, o bien de forma remota.

El CT didáctico de *Schneider Electric* ya llevaba incorporado un selector desde el cual se podía elegir dos posiciones, local o telemando. Ahora bien, dicho selector por el momento tenía poca funcionalidad, ya que no existía ninguna forma de enviar ordenes remotamente al CT. Tras la implementación la pantalla táctil, más adelante explicado, esto cambiará debido la posición de telemando en el selector tendrá funcionalidad.

Con el selector en posición local solo progresan las órdenes de las maniobras dadas desde el interior del CT, tanto desde el cuadro de control y protección como desde el nuevo cuadro de control local motorizado.

Se dotará al cuadro de mando local de pulsadores para abrir y cerrar las celdas de línea y la celda de protección, por lo tanto, un total de 6 pulsadores. Además, se decidió añadir una seta de emergencia (pulsador de emergencia) a dicho cuadro porque, aunque en este tipo de instalaciones no sea obligatorio, ya que no hay una normativa específica para la automatización de CTs, nunca está demás dotar de todas las medidas posibles de seguridad las nuevas instalaciones.

Del mismo modo, la celda de transformación aun estando vallada, la puerta no tenía cerradura. Con lo cual, se barajaron varias opciones, entre ellas la de instalar una cerradura, pero al final se optó por algo mucho más sencillo e igual de seguro, la instalación de un sensor (final de carrera) en la propia puerta. Lo que se consigue con ello es lo siguiente, cuando el CT esté operativo y con lo cual el transformador tenga tensión y esté funcionando, si alguien abre la puerta de la celda de transformación para acceder a ella, se abrirá automáticamente el interruptor automático de la celda de protección. Así este sensor y el pulsador de emergencia tienen la misma funcionalidad.

Volviendo al cuadro de mando local, el criterio de funcionamiento que se estableció fue el siguiente:

- Las celdas se podrán maniobrar siempre de forma manual estando el selector en cualquier posición.
- Estando el selector en modo local, las órdenes de maniobra que progresarán serán únicamente las del cuadro de mando local y los pulsadores de la caja de control y protección.
 - Abrir CL1 (desde CML)
 - Cerrar CL1 (desde CML)
 - Abrir CL2 (desde CML)
 - Cerrar CL2 (desde CML)
 - Abrir CSP (tanto de ACP como de CML)
 - Cerrar CSP (tanto de ACP como de CML)
- Estando el selector en modo remoto, las órdenes de maniobra que progresarán serán las dadas por el autómatas (o dicho de otra forma, desde de la pantalla táctil), pero a su vez, las órdenes de abrir dadas desde el cuadro de mando local, podrán progresar.
 - Abrir CL1 (tanto de pantalla como de CML)
 - Cerrar CL1 (desde pantalla)
 - Abrir CL2 (tanto de pantalla como de CML)
 - Cerrar CL2 (desde pantalla)
 - Abrir CSP (tanto de pantalla como de CML)
 - Cerrar CSP (desde pantalla)

Este criterio se decidió así por temas de seguridad. Aun estando el selector en modo remoto, si algún operario por motivos de seguridad encuentra oportuno abrir los interruptores y dejar sin tensión el CT se podrá hacer. Pero solo las órdenes de abrir, nunca las de cerrar, estas no progresarán.

- El pulsador de emergencia situado en el cuadro de mando local y el sensor de puerta abierta actuarán siempre (abrirán el interruptor de la celda de protección) independientemente del modo en que se encuentre el selector.
- Y por supuesto, las protecciones ofrecidas por los enclavamientos tanto eléctricos como mecánicos de las propias celdas, siempre prevalecerán delante de cualquiera que sea la orden.

5.3.2. Realización de los Esquemas

Una vez definidos los criterios de funcionamiento del automatismo en cuestión, se procedió a la realización de los esquemas.

En primer lugar, se empezó por unos esquemas básicos de implantación. A partir de ahí, y con los esquemas que se tenían del fabricante se pudieron diseñar y elaborar los esquemas funcionales de la instalación. A la hora de definir una nueva instalación se debe empezar por los esquemas funcionales, es más, es importante hacerlo de esta forma porque son los que definirán la estructura de la instalación y todos los componentes necesarios.

Durante la realización de los esquemas funcionales fueron surgiendo problemas, en muchos casos originados por la falta de material; esto, supuso una complicación añadida con la que no se contaba en el inicio del proyecto.

Una vez definidos los esquemas funcionales, se empezó a realizar los esquemas de conexionado. En estos esquemas ya se pueden apreciar de forma exacta todos los elementos y su interconexión. Estos esquemas deben coincidir con la realidad ya que, el montaje de la instalación se realiza mediante estos.

5.3.2.1. Colecciones

Una colección es una agrupación de esquemas de un mismo tipo y de la misma parte de la instalación. De normal, suele existir una colección de esquemas funcionales de toda la instalación y aparte, una colección de esquemas de conexionado por cada caja o armario de control.

En este proyecto se procedió de esta forma, se realizó una colección de esquemas funcionales de toda la instalación, una colección de esquemas de conexionado del armario de control y protección (ACP) situado en la parte superior de la celda de protección, una colección de esquemas de conexionado del nuevo cuadro de mando local (CML) instalado en la verja de la celda de protección y por último una colección de esquemas de conexionado de las propias celdas de MT, en la cual se representan los bornes internos de las mismas.

Los esquemas son una de las partes más importantes del presente proyecto, sin ellos el trabajo no puede tener un legado ni una continuidad. De esta forma y si se actualizan adecuadamente cuando se le practiquen mejoras al control del CT, será sencillo mantener un control y un orden en estos.

Destacamos que hay dos colecciones iguales de conexionado, una de ellas está como versión definitiva y en cambio en la otra aparecen cosas en rojo. Los elementos que estén en rojo son las añadidas a lo existente de fábrica, de esta forma siempre quedará constancia de cuales fueron los elementos añadidos o modificados en la última de sus actualizaciones.

Las colecciones de esquemas se adjuntan en los anexos del proyecto. Véase el Anexo A: Planos de Colecciones de Esquemas Eléctricos.

6. Implementación de la Automatización

Una vez se tienen los esquemas definidos se puede proceder a su implementación.

6.1. Cableado de las Celdas

En primer lugar, se empezó incorporando las regletas de bornes en el armario ACP. Esto entorpeció el avance del proyecto puesto que se hubiese podido acabar en una jornada; pero, al no disponer de todo el material se tardó más de lo necesario.

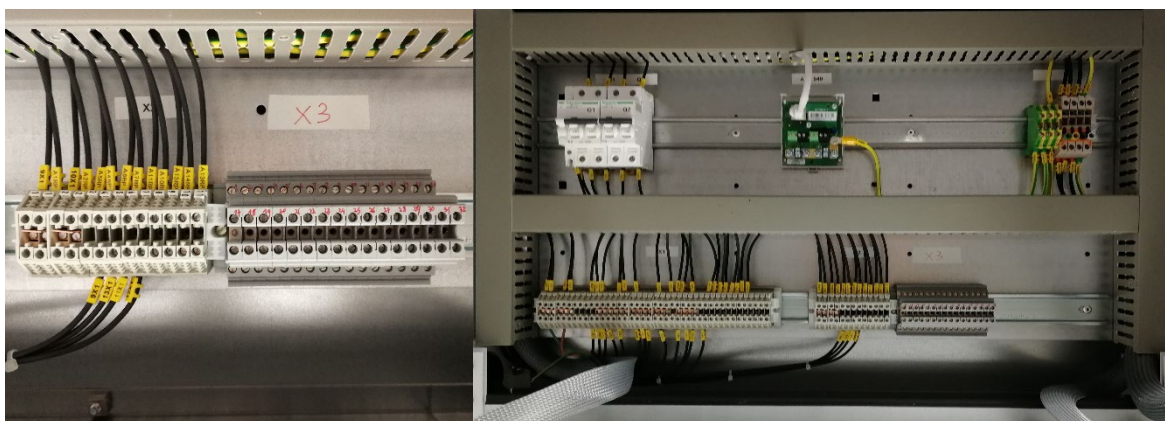


Ilustración 6.1 - Detalla del ACP al principio del proyecto, con pocas bornas y sin cablear.

Seguidamente, se procedió a agujerear la parte lateral izquierda del ACP. Esto fue necesario porque para la instalación de los nuevos conductores no existía suficiente espacio físico para pasar de una celda a otra por el interior de estas hasta llegar al ACP, por lo tanto, se optó por la instalación de una canaleta en la superficie de las celdas, que va desde la CL1 hasta el final de la CSR, coincidiendo con el inicio del ACP.

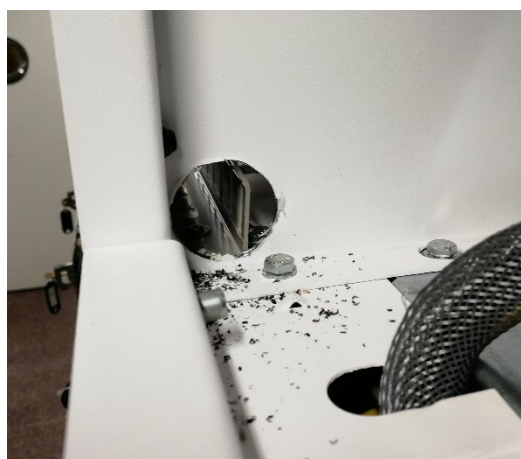


Ilustración 6.2 - Orificio practicado al lateral izquierdo del ACP para facilitar el cableado.

En la siguiente imagen se observa la canaleta coincidiendo con el agujero del ACP y así facilitando la entrada de los conductores a este de una forma ordenada y disimulada.



Ilustración 6.3 - Instalación de la canaleta en la superficie de las celdas.

Cuando se tuvieron las regletas de bornes y la canaleta en su sitio se pudo empezar a cablear. Se pasaron tantos cables como se especifica en el anterior apartado.

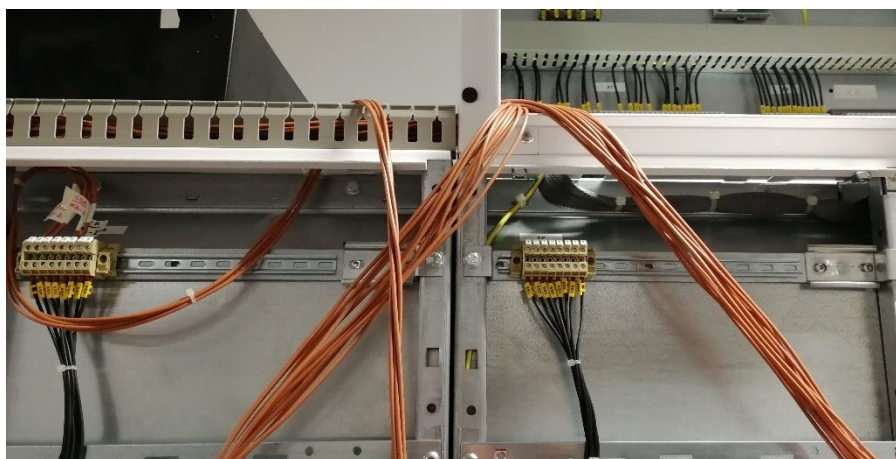


Ilustración 6.4 - Detalle del proceso de cableado de las celdas.

6.2. Instalación del Cuadro de Mando Local (CML)

Para la instalación del cuadro de mando local se siguieron estrictamente los esquemas de conexionado de la colección CCML.

En la colección de conexionado de la caja se indica que tipo de caja es y el mecanizado que se le debe realizar a la misma. Dicho lo cual, lo primero fue empezar por la mecanización de la tapa de la caja y de la parte superior. Se le hicieron un total de 7 orificios en la tapa y 2 en la parte superior de la caja. Una

vez realizados los orificios se colocaron en ellos los pulsadores y las luces de neón correspondientes. Véase las imágenes de detalle de la caja.



Ilustración 6.5 - Detalle del mecanizado y de la instalación de la caja CML.

A continuación, se instalaron los tubos en el interior de los cuales se pasan los conductores de control y señalización que viajan hasta el CML.

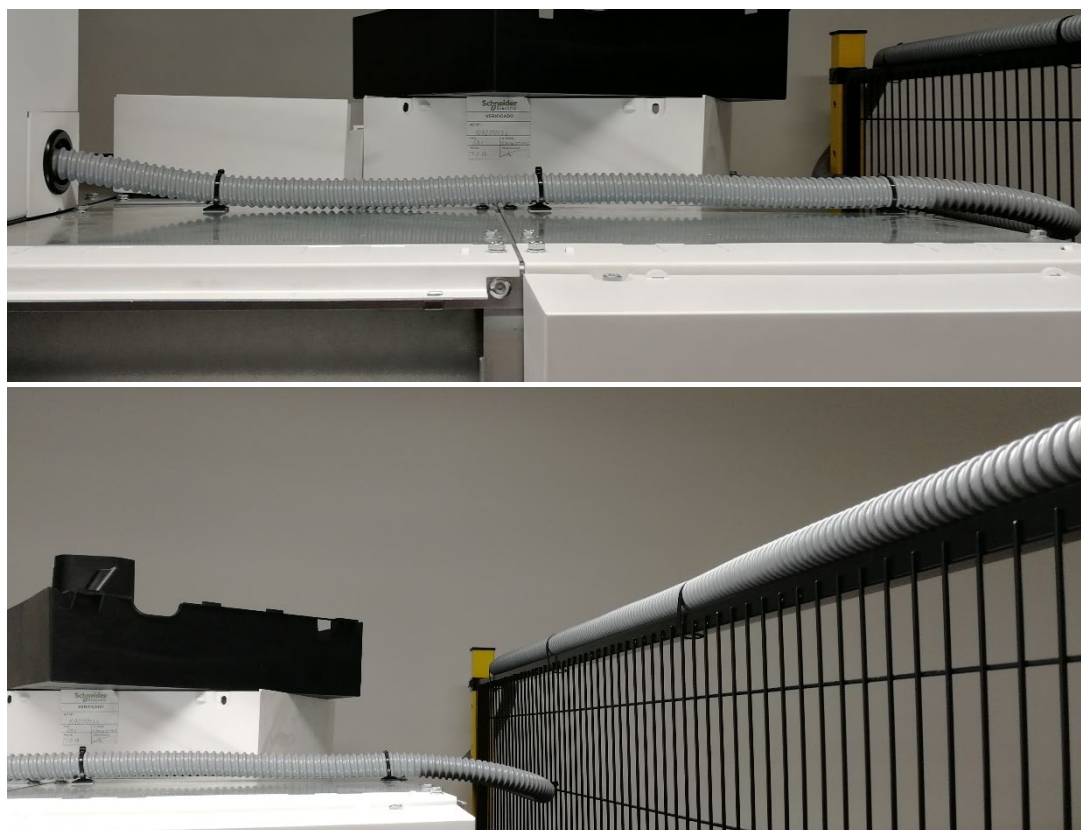


Ilustración 6.6 - Detalle de la instalación de la canalización por la cual discurren los conductores de control y señalización.

Para concluir, se pasaron los cables, se conectaron a los bornes correspondientes del ACP según los esquemas de conexionado de este y se conectaron los pulsadores e indicadores (neones) del cuadro CML.

La siguiente ilustración muestra como quedó instalado el cuadro de mando local. En la parte superior se sitúa el pulsador de emergencia el cual abrirá el interruptor automático de la celda de protección en caso de ser accionado. En la parte central se encuentran los neones de señalización de estado de las celdas. Nótese que falta un neón, por el momento no se disponía de él. Y en la parte inferior, se hallan los pulsadores de control, seis en total, uno de apertura y uno de cierre por cada una de las tres celdas posibles de ser maniobradas.



Ilustración 6.7 - Cuadro de mando local instalado.

6.3. Seguridad en la Celda de Transformación

Como se ha comentado anteriormente, se proyecta la instalación de un sensor el cual detecte si la puerta de la celda de transformación está abierta o cerrada. Se opta por un final de carrera que se instala en la parte superior izquierda del marco de la puerta de la celda.

El cableado de este discurre por la misma canalización que los elementos del CML y como se puede observar en la Ilustración 6.7, en la parte superior del CML salen dos tubos, uno son los conductores que vienen del ACP y el otro son los conductores que salen hacia el final de carrera de la puerta situado justo encima.

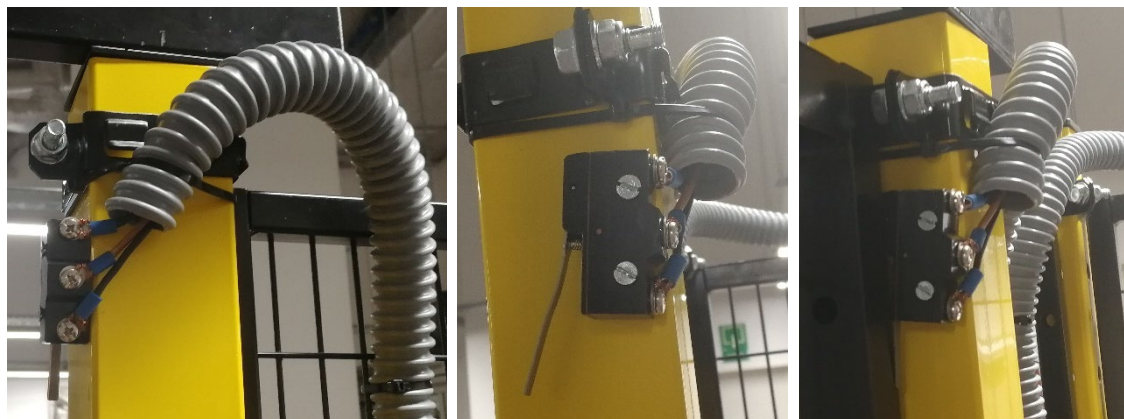


Ilustración 6.8 - Detalle de la instalación del final de carrera en la puerta de la celda de transformación.

Su función principal es la de provocar el disparo del interruptor automático cuando este esté cerrado y por el motivo que sea la puerta de la celda de transformación se abra. De hecho, eléctricamente hablando, tiene la misma función que el pulsador de emergencia, los dos al ser accionados envían la misma orden de apertura al interruptor.

6.4. Funcionamiento

Cuando se tuvo todo montado e instalado se comprobó que el funcionamiento era el correcto.

Efectivamente las ordenes de los pulsadores del cuadro de mando local solo progresan cuando el selector está en modo local. Sin embargo, la orden de abrir la celda de protección (CSP) estando el selector en modo telemando puede ser dada igual, además desde dos pulsadores, tanto el propio pulsador de apertura como el paro de emergencia. Como se ha explicado anteriormente, este es un criterio de seguridad.

Destacamos que el final de carrera instalado en la puerta del trafo cumple su función, estando el selector en el modo que sea, si está el interruptor cerrado, al abrir la puerta de la celda para intentar acceder al trafo estando este en tensión provoca el disparo del interruptor automático.

Por ejemplo, cuando se intenta abrir o cerrar una celda de línea estando la manivela para realizar la operación de forma manual insertada en el orificio, las órdenes no progresan. Claro está que las órdenes tampoco progresarán cuando estas celdas estén puestas a tierra (cuando el seccionador de puesta a tierra esté cerrado).

Se puede concluir que el funcionamiento fue el esperado.

7. Control Remoto

La siguiente fase de la automatización es el control remoto o telemandado del CT.

Los motivos por los cuales se quieren controlar remotamente los CT son varios. El primero es la comodidad de maniobrar a distancia y sin la necesidad de estar físicamente en el CT. La segunda es por seguridad, debido a que cualquier maniobra en MT o en AT siempre conllevan riesgos. Por lo tanto, si se realizan las maniobras sin que nadie esté físicamente en el interior del CT disminuyen notablemente los riesgos de accidente.

El tercer motivo por el cual es interesante un telemando es el hecho de poder obtener información. Si se dota al CT de un sistema de telemando, este es capaz de enviar información del estado actual en que se encuentra en todo momento, también es capaz de indicar de que protección ha disparado en caso de producirse un disparo del interruptor diferencial. Y lo más relevante, en caso de alarma (aviso de alarma, pero sin que exista disparo), informará de que alarma ha saltado, dando la capacidad a los operarios de personarse en el CT para tomar las medidas o prevenciones que crean oportunas.

7.1. El Autómata

El autómata utilizado en la automatización del CT es el M340 de *Schneider Electric* y la forma en que se comunicarán sus estados y recibirá los comandos será vía Ethernet desde la Scada (pantalla táctil).

Los procesadores de automatización M340 gestionan toda la estación PLC, que está formada por módulos de entradas y salidas binarias, módulos de entradas y salidas analógicas, módulos de conteo, otros módulos expertos y módulos de comunicación.

Es un autómata modular de gama media, por lo que está formado por diferentes módulos los cuales son insertados en un bastidor (rack) de 6 ranuras (slots). Los diferentes elementos y tarjetas que lo componen se exponen a continuación:

1. Rack 6 slots BMX XBP 0800
2. Fuente de alimentación BMX CPS 2000
3. CPU P34 20102 (Firmware ver.2.30)
4. Módulo de comunicaciones Ethernet NOE110
5. Módulo de entradas digitales DDI1602
6. Módulo de salidas digitales DDO 1602
7. Módulo de Entradas y salidas analógicas AMM 0600



Il·lustració 7.1 - El autómata M340 con sus tarjetas insertadas en el rack.

7.1.1. Software de Programación

El software empleado para el desarrollo de la automatización es el Unity Pro XL de *Schneider Electric*. Entre muchas de sus funciones están las que interesan para este trabajo como la posibilidad de crear un entorno de configuración que se adapte al fin del trabajo en cuestión.



Il·lustració 7.2 - Software Unity Pro XL [9].

Ofrece la posibilidad de simular el programa antes de volcarlo en el autómata. Una vez volcado permite el monitoreo en tiempo real del mismo y la posibilidad de interactuar con la instalación a través del ordenador y no de una pantalla HMI.

La forma en que se comunica con el autómata es mediante un cable USB a micro USB

7.1.2. Limitaciones del Sistema

Se designan una serie de limitaciones a la hora de realizar maniobras las ordenes de las cuales sean dadas por el autómatas:

- Las celdas se podrán maniobrar únicamente cuando el selector esté en modo “Telemando”.
- El autómatas junto con sus dispositivos HMI deberán estar operativos para poder realizar el telecontrol.
- El sistema de control remoto permite abrir o cerrar las celdas motorizadas:
 - Celda de entrada de líneas (CL1)
 - Celda de salida de línea (CL2)
 - Celda de protección por interruptor automático
- Las puestas a tierra, las operaciones de seccionamiento y la medida se podrán realizar únicamente de forma manual tal y como se exige en la normativa de seguridad de operación en CT.

7.2. Programación del Autómatas

Mediante el Unity Pro XL, se crea un nuevo proyecto en el cual lo primero que se debe hacer es seleccionar la gama de productos *Schneider Electric* que se utiliza, en este caso la gama de procesadores M340, modelo BMX P34 2010.

Seguidamente se selecciona la CPU, se elige la opción de BASTIDOR PRINCIPAL DE 6 SLOTS. A partir de este momento se añade en cada posición del bastidor el módulo correspondiente.

A continuación, se establece una red de trabajo para que los dispositivos HMI puedan conectarse con el autómatas a través de un cable Ethernet, estableciendo una dirección IP, máscara subred y dirección de pasarela para que PC y autómatas también queden vinculados.

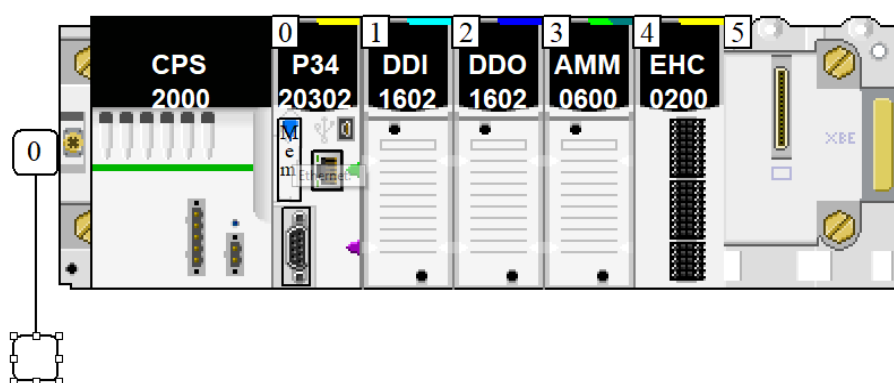


Ilustración 7.3 - Configuración del autómatas sobre el rack según el software Unity Pro XL.

Como el desarrollo de este proyecto no pretende ser un manual de programación, simplemente se comentarán las partes que tiene el programa y se explicará su procedencia, junto con el concepto en el que se han basado a la hora de ser programadas.

7.2.1. Entradas y Salidas

El primer paso a la hora de realizar una automatización mediante un autómatas es la definición de las entradas y salidas de este. A continuación, se muestra la lista de las entradas y salidas que se configuran en el autómatas:

Entradas:

- I0 Estado del interruptor-seccionador de CL1
- I1 Estado del seccionador de puesta a tierra de CL1
- I2 Estado del interruptor-seccionador de CL2
- I3 Estado del seccionador de puesta a tierra de CL2
- I4 Estado del seccionador de CSR
- I5 Estado del seccionador de puesta a tierra de CSP
- I6 Estado del interruptor automático de CSP
- I7 Estado de carga de los muelles del disyuntor de CSP
- I8 Estado del selector Local/Telemando
- I9 Estado del magnetotérmico de los motores de las celdas
- I10 Estado de la puerta de la celda de transformación

Salidas:

- Q0 Abrir el interruptor-seccionador de CL1
- Q1 Cerrar el interruptor-seccionador de CL1
- Q2 Abrir el interruptor-seccionador de CL2
- Q3 Cerrar el interruptor-seccionador de CL3
- Q4 Abrir el interruptor-seccionador de CSP
- Q5 Cerrar el interruptor-seccionador de CSP

7.2.2. Definición de Variables

Cuando se tienen claras todas las entradas y salidas que deberá tener el autómatas para obtener el funcionamiento deseado se deben definir en el Unity Pro XL. Esto se hace mediante la definición de variables.

Ahora bien, no todas las variables son entradas (%I) o salidas (%O), existen otros tipos como pueden ser las marcas (%M) o las palabras (%MW). Estas se usan para almacenar valores internos del programa

sin necesidad de ser entradas o salidas, o bien para comunicarse con un dispositivo HMI como es la pantalla táctil en este caso.

Una vez definidas todas las variables necesarias ya se puede proceder a la realización del programa.

El listado de variables se encuentra en el Anexo de Programa del Autómata.

7.2.3. Programa

En el Unity Pro XL los programas se dividen en secciones y secciones de subrutina. En este caso solo existe una sección llamada Principal. En cambio, se han programado 4 subrutinas: Pantalla, Alarmas, Estado y Contadores.

En cada una de las subrutinas se programa una parte distinta, no porqué se tengan que separar de las demás ya que, se podría realizar el programa al completo en una sola. Se separa por el simple hecho de ser más visual para los demás usuarios que en un futuro, sin haber creado ellos el programa, tengan más fácil entenderlo y así poder realizar las modificaciones oportunas.

En la subrutina de Pantalla se programan las órdenes de cierre y apertura de las celdas de línea y de la celda de protección con sus correspondientes enclavamientos. En este caso, estos no son ni eléctricos ni mecánicos, pero pretenden simular el comportamiento de los eléctricos. Su objetivo es evitar maniobras indebidas.

En la subrutina de Estado se realiza la comprobación de los estados de los interruptores y seccionadores del CT y se convierten todos en contactos NA. Es necesaria esta conversión porqué las señales de los estados que llegan a las entradas del autómata no siempre responden a contactos de tipo NA, algunos son de tipo NC. Una vez unificados en un mismo formato, se pueden enviar los estados a la pantalla táctil.

Una instalación de esta envergadura debe estar protegida mediante disparos y avisos de alarma. La subrutina de Alarmas es una de las más importantes, ya que, en ella se programan todas las alarmas y disparos que puede sufrir el CT. Las alarmas principales son: disparo de magnetotérmico de alimentación de los motores, alarma de temperatura excesiva en el trafo, alarma por SEPAM... Los disparos programados son: disparo por apertura de puesta, disparo por sobrepresión, disparo por gases en la cuba del trafo (buchholz), disparo por excesiva temperatura, disparo por SEPAM...

Por último, en la subrutina de Contadores se programan unos contadores de maniobras motorizadas de las celdas de línea y de la celda de protección. A parte de conocer el número de maniobras, dato que siempre conviene saber, el motivo por el cual se realiza esto es por mantenimiento. Cuando se alcance un cierto número de maniobras, las celdas y sus mecanismos deberán pasar una revisión.

Las distintas subrutinas y el programa al completo pueden verse en el Anexo de Programa del Autómata en el final del presente proyecto. Véase el Anexo B: Programa del Autómata.

8. Diseño del Control por Pantalla Táctil

La última fase del trabajo es el diseño, programación e instalación de un dispositivo de interfaz hombre-máquina (HMI). Para este caso se elige una pantalla táctil, ya que, es el dispositivo más capaz para este acometido en concreto.

Al ser un trabajo académico, en un origen, la empresa *Schneider Electric* marca de la cual es el CT didáctico de la universidad, tenía que suministrar el autómata, la pantalla táctil y todo el material que requiriera el proyecto. No ha sido así, por lo no se ha dispuesto del material o de las tarjetas del autómata oportunas y esto ha causado algún que otro inconveniente que ha podido alargar o retrasar alguna de las fases del trabajo. Por ejemplo, al no poder disponer del autómata adecuado, se tuvo que usar uno de los existente en el laboratorio de instalaciones eléctricas, pero este autómata funciona al completo a 24 Vcc; por lo tanto, al no tener tarjetas de entradas y salidas de 230 Vac de tensión, ha disminuido el número de estas que podíamos utilizar.

El motivo por el cual se han debido reducir el número entradas y salidas de las que podíamos disponer, es el hecho de tener dos niveles de tensión distintos. Todos los componentes del CT funcionan a 230 Vca, tanto su circuito de potencia como el de mando. Con lo que, si queríamos enviar una orden del autómata al CT y que esta ejecutara una maniobra, debía pasar por un relé de excitación a 24 Vcc y que sus contactos auxiliares soportaran tensiones de 230 Vac. Lo mismo pasa con las entradas, se obtiene información del CT a una tensión de 230 Vac y no se puede conectar a la tarjeta de entradas directamente, se debe convertir a 24 Vcc mediante un relé auxiliar y luego llevarse al autómata. Esto pude verse representado en los esquemas eléctricos anexados.

8.1. La Pantalla (Dispositivo HMI)

La pantalla debe servir para visualizar el estado del CT a modo de SCADA, debido a que estará situada a distancia y, por lo tanto, no se tendrá visibilidad del CT para comprobar su estado. A su vez, dicha pantalla debe poder dar órdenes para ejecutar las maniobras oportunas.

Se opta por una pantalla táctil de 5,7" a color. El terminal es de la marca Schneider Electric y el sistema operativo que utiliza es Magelis.



Il·lustració 8.1 - Dispositiu HMI. Pantalla tàctil empleada en el projecte [9].

8.2. Software de Programació

El software empleado para la programación de la pantalla es el *Vijeo Designer* de *Schneider Electric*. Permite la creación de un diálogo entre el hombre y la máquina, y al igual que el Unity Pro XL, permite cierta simulación antes de volcar el programa al dispositivo.

La forma en que se comunica la pantalla con el ordenador es mediante un cable USB a micro USB



Il·lustració 8.2 - Licencia del software Vijeo Designer [9].

8.3. Programación del Dispositivo

La programación de una pantalla táctil no es trivial, pero no es muy complicado si se tiene algunas nociones de programación.

Para empezar, se deben definir las variables del sistema. Estas deben coincidir en dirección con las del autómatas, de otro modo no se comunicarán correctamente entre ellos.





























	Nombre	Tipo d...	Origen de...	Grupo de escan...	Direcc...	Grupo de alar...	Grupo d...
1	 Estado_Int_Sec_CL1	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%I0.1.0	Desactivado	Ninguno
2	 Estado_Sec_PAT_CL1	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%I0.1.1	Desactivado	Ninguno
3	 Estado_Int_Sec_CL2	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%I0.1.2	Desactivado	Ninguno
4	 Estado_Sec_PAT_CL2	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%I0.1.3	Desactivado	Ninguno
5	 Estado_Sec_CSR	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%I0.1.4	Desactivado	Ninguno
6	 Estado_Sec_PAT_CSP	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%I0.1.5	Desactivado	Ninguno
7	 Estado_Int_CSP	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%I0.1.6	Desactivado	Ninguno
8	 Estado_Muelles_Disy_CSP	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%I0.1.7	Desactivado	Ninguno
9	 Estado_Local_Remoto	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%I0.1.8	Desactivado	Ninguno
10	 Puerta_Abierta	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%I0.1.9	Ninguno	Ninguno
11	 Ord_Abrir_CL1	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M1	Desactivado	Ninguno
12	 Ord_Cerrar_CL1	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M2	Desactivado	Ninguno
13	 Ord_Abrir_CL2	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M3	Desactivado	Ninguno
14	 Ord_Cerrar_CL2	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M4	Desactivado	Ninguno
15	 Ord_Abrir_CSP	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M5	Desactivado	Ninguno
16	 Ord_Cerrar_CSP	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M6	Desactivado	Ninguno
17	 Mando_Local	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M10	Desactivado	Ninguno
18	 Mando_Remoto	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M11	Desactivado	Ninguno
19	 E_INT_CL1	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M20	Desactivado	Ninguno
20	 E_SEC_PAT_CL1	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M21	Desactivado	Ninguno
21	 E_INT_CL2	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M22	Desactivado	Ninguno
22	 E_SEC_PAT_CL2	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M23	Desactivado	Ninguno
23	 E_SEC_CSR	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M24	Desactivado	Ninguno
24	 E_SEC_PAT_CSP	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M25	Desactivado	Ninguno
25	 E_INT_CSP	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M26	Desactivado	Ninguno
26	 Alarma_Dis_Magneto	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M40	Alarmas_CT	Ninguno
27	 Disparo_Puerta_Abierta	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M41	Disparos_CT	Ninguno
28	 Alarma_Dis_SEPAM	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M42	Disparos_CT	Ninguno

Ilustración 8.3 - Variables definidas en el Vijeo Designer (1).
















29	 Pul_Alarma_Temp	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M43	Alarmas_CT	Ninguno
30	 Pul_Disb_Buchholz	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M44	Ninguno	Ninguno
31	 Pul_Disb_Sobrepresion	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M45	Ninguno	Ninguno
32	 Pul_Disb_Temp	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M46	Ninguno	Ninguno
33	 Alarma_Pantalla	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M48	Alarmas_CT	Ninguno
34	 Pul_Rearme_Disparo	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M49	Desactivado	Ninguno
35	 DISPARO	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M50	Desactivado	Ninguno
36	 ALARMA	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M51	Desactivado	Ninguno
37	 Pul_Rearme_Alarma	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M52	Desactivado	Ninguno
38	 DISPARO_BUCHHOLZ	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M60	Disparos_CT	Ninguno
39	 DISPARO_SOBREPRESION	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M61	Disparos_CT	Ninguno
40	 DISPARO_TEMP	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M62	Disparos_CT	Ninguno
41	 Mantenimiento_CL1	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M101	Desactivado	Ninguno
42	 Reset_Cont_CL1	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M102	Desactivado	Ninguno
43	 Mantenimiento_CL2	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M111	Desactivado	Ninguno
44	 Reset_Cont_CL2	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M112	Desactivado	Ninguno
45	 Mantenimiento_CSP	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M121	Desactivado	Ninguno
46	 Reset_Cont_CSP	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%M122	Desactivado	Ninguno
47	 Contador_CL1	INT	Externo	EquipoModbus01	%MW100	Desactivado	Ninguno
48	 Contador_CL2	INT	Externo	EquipoModbus01	%MW110	Desactivado	Ninguno
49	 Contador_CSP	INT	Externo	EquipoModbus01	%MW120	Desactivado	Ninguno

Ilustración 8.4 - Variables definidas en el Vijeo Designer (2).

Con las variables definidas ya se puede proceder a la creación de las pantallas que se crean oportunas. Como se ha comentado también en el apartado anterior, este proyecto no pretende ser un manual de programación y por lo tanto en el siguiente punto se mostrarán las diversas pantallas creadas sin entrar en el detalle de su programación.

8.4. Pantallas

Se crean un total de siete pantallas, de las cuales una es la principal desde donde se puede acceder a todas las demás. Las otras pantallas tienen cada una funcionalidad distinta.

También se programan diversas ventanas emergentes. Son pantallas de tamaño más reducido que surgen al pulsar en según qué botones o regiones de las diversas pantallas.

A continuación, se presentan las diversas pantallas y varios ejemplos de las ventanas emergentes.

8.4.1. Pantalla Principal

La pantalla principal del dispositivo HMI tiene la siguiente apariencia:

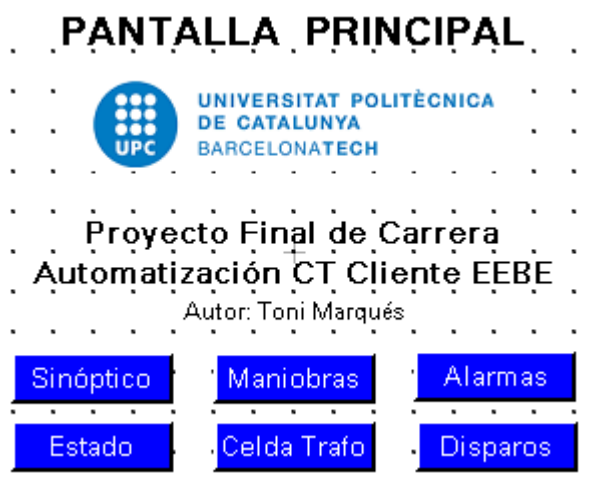


Ilustración 8.5 - Pantalla principal.

Desde esta se puede acceder mediante los botones que se aprecian a las otras pantallas.

8.4.2. Sinóptico

En esta pantalla se pretende representar el CT en forma sinóptica. Los interruptores y seccionadores cambian de posición según cambian en el CT real. A demás, los que son susceptibles de ser maniobrados cambian de color y permite pulsar encima de ellos para realizar los cierres o aperturas convenientes, siempre y cuando el selector del ACP esté en modo Telemando. Véase la Ilustración 8.7.

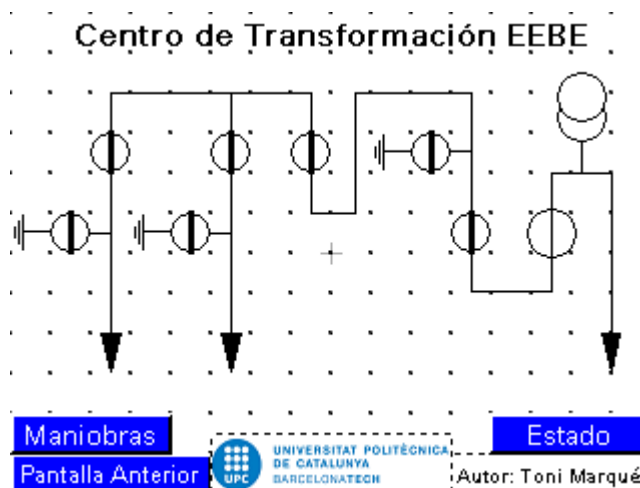


Ilustración 8.6 - Pantalla de sinóptico o de SCADA del CT de la EEBE.

En la parte inferior, se encuentran situados varios botones los cuales sirven o para ir a las pantallas indicadas sin necesidad de pasar por la pantalla de inicio, o bien, con el botón de pantalla anterior permite regresar en la ventana en que estaba anterior a esta.

El logo de la UPC sirve para ir a la pantalla principal y el nombre del autor para entrar en la ventana de configuración de la propia pantalla.



Ilustración 8.7 - Ventanas emergentes que aparecen en pantalla cuando se pulsa encima de los sinópticos de las celdas de línea o de protección.

8.4.3. Maniobras

La pantalla de maniobras de la que dispone el dispositivo HMI pretende imitar el cuadro de mando local instalado en el interior del CT. Las funciones de los pulsadores y los colores son los mismos, al igual que los indicadores, cuando los interruptores de las celdas están cerrados se iluminan.

Lo único que cambia respecto al cuadro de mando local es el pulsador de emergencia. En el propio cuadro instalado en el CT existe una seta de emergencia, la cual abre la celda de protección dejando a la celda de transformación sin tensión. En cambio, en la pantalla y por control remoto, la función que tiene es dejar en “cero” el CT, es decir, abrir todos los interruptores tanto de la celda de protección como de las celdas de línea. Esto responde a que si alguien sin querer presiona el paro de emergencia no pueda dejar sin tensión a otros CT que cuelguen de una de las celdas de línea. Por lo tanto, esta opción solo es válida a distancia y de forma premeditada, nunca por error. Para ello se ha programado de tal forma que se debe pulsar durante 3 segundos para que se ejecute la orden de “cero”.

La opción de retrasar el paro de emergencia unos segundos para que tuviera la misma función no es válida, ya que, de ser así dejaría de cumplir la función de paro de emergencia. A demás, el cero no debe ser provocado por un operario, más bien por el centro desde donde se controle el CT a distancia.

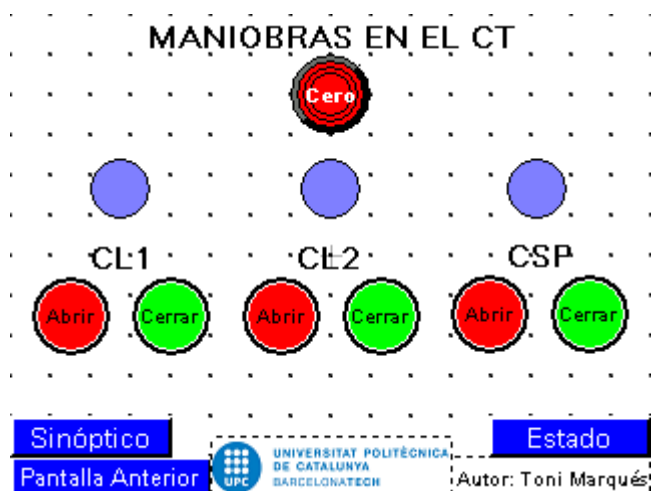


Ilustración 8.8 - Pantalla de maniobras.

Los botones de la parte inferior responden a las mismas órdenes que la pantalla del sinóptico.

8.4.4. Alarmas

La pantalla de alarmas junto con la de disparos tienen un papel importante en el conjunto, porque gracias a se dispone de la información de las alarmas y disparos del interruptor automático en todo momento. Destacar que dispone de un histórico en el cual aparecen el rojo las alertas que acaban de ocurrir y que no se han solventado, y que pasan a ser de color amarillo cuando se aceptan. El hecho de aceptar las alertas no supone nada para la instalación, simplemente es para que quede constancia de que alguien se ha percatado y que ha tomado las medidas para solventar el problema.

Una vez solucionado, se puede pulsar el botón de rearme hasta el momento inservible, de tal forma que las alertas aparecerán ahora en color verde, lo cual significa que ya se ha solventado el problema.

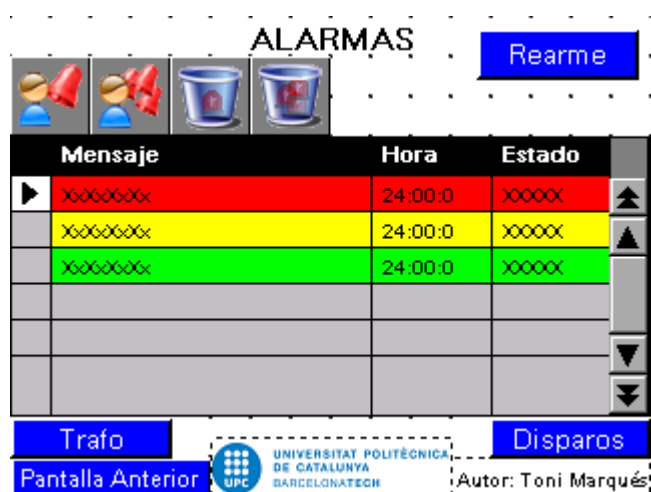


Ilustración 8.9 - Pantalla de alarmas.

8.4.5. Disparos

Esta pantalla de disparos funciona exactamente igual que la de alarmas, pero con el distintivo de que en esta salen reflejados los disparos que ha sufrido el interruptor automático y en la otra las alarmas, pero que no han llegado a disparar el interruptor.



Ilustración 8.10 - Pantalla de disparos.

8.4.6. Celda de Transformación

Esta pantalla no tendría sentido en un CT real, pero en este caso al ser un CT didáctico, nunca llegarán a darse las condiciones para que pueda producirse un disparo por protecciones propias del trafo. Con lo cual se crea esta pantalla en la que se pueden simular distintos disparos y alarmas, que desde el punto de vista didáctico cumplen la misma función que las protecciones del trafo.

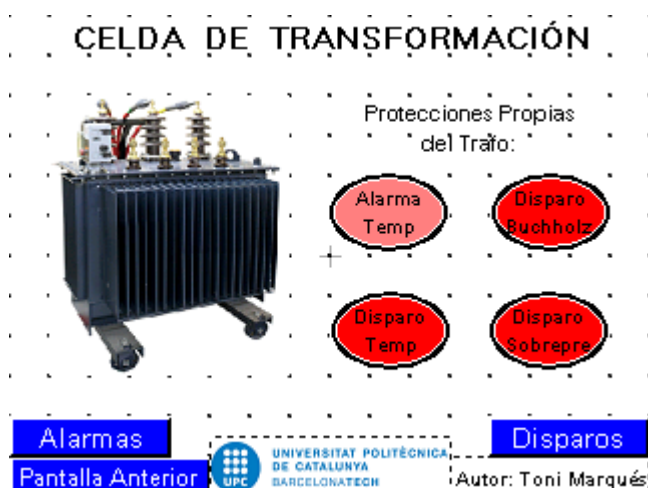


Ilustración 8.11 - Pantalla de la celda de transformación.

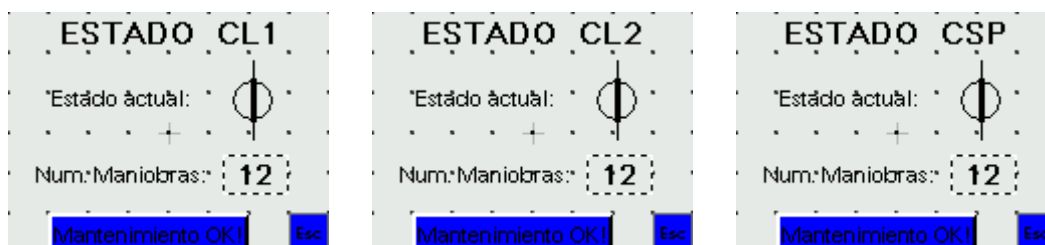
8.4.7. Pantalla de Estado

Para finalizar, se diseña una pantalla de estado del CT. Esta sirve para saber el que estado se encuentran las celdas, posición de los interruptores y número de maniobras motorizadas realizadas. Cuando se alcanza un número determinado de maniobras, las celdas parpadean y pide que se realice un mantenimiento preventivo de los mecanismos. Una vez realizado, se informa de ello y se reinicia el contador.



Il·lustració 8.12 - Pantalla de estado del CT.

Cuando se pulsa en las celdas motorizadas aparecen ventanas emergentes con la información anteriormente comentada.



Il·lustració 8.13 - Ventanas emergentes de la pantalla de estado del CT.

9. Implementación del Control Remoto

Cuando ya se tienen el control y el programa del autómatas y la pantalla definidos, se empieza la instalación de esta última, el dispositivo HMI de esta instalación. Este es uno de los últimos pasos antes del volcado del programa en la pantalla.

Se decidió instalarla en el frontal derecho de la celda de transformación porqué de esta forma simboliza el hecho de que no hace falta que esté situada en el interior del CT. De hecho, lo más lógico es que no esté en el CT y esté situada en el centro de control de la instalación eléctrica del propietario. Siendo un CT didáctico y teniendo que estar este dispositivo en el interior del laboratorio de instalaciones eléctricas, la zona donde se decidió instalar es la más indicada porqué representa que está en la zona de BT y además no hay visión directa con las celdas del CT, por lo tanto, debe uno guiarse por el sinóptico de la pantalla.



Ilustración 9.1 - Situación y emplazamiento de la pantalla táctil. Dispositivo HMI.

En la ilustración anterior, se aprecia la zona de instalación de la pantalla, y en la imagen siguiente, se muestra un detalle de esta.



Ilustración 9.2 - Detalle de la instalación de la pantalla táctil. Dispositivo HMI.

La alimentación de la pantalla llega a esta desde el armario de control y protección a través de un tubo corrugado de PVC instalado adrede para ello. Por el interior de este, también transcurre la comunicación entre la pantalla y el autómat.

Una vez instalado y alimentado el dispositivo de interfaz hombre-máquina, se conecta al ordenador y se procede al volcado del programa.

si no existen errores en la comunicación del autómat y la pantalla con el ordenado, por desgracia más frecuentes de lo normal, se comprueba el correcto funcionamiento del sistema en su conjunto y se da el proyecto por finalizado.

10. Análisis del Impacto Ambiental

La principal sustancia a tener en cuenta en el presente proyecto es el hexafluoruro de azufre.

Este gas tiene un tiempo de vida de unos 3.200 años y es un gas altamente perjudicial en favor del cambio climático y tiene un alto potencial de efecto invernadero.

Las pérdidas o fugas de SF_6 y que por tanto terminan en la atmósfera son debidas a la fabricación de las celdas de MT. Como se observa en la siguiente ilustración, la mayor parte del gas que termina en la atmósfera es debido a la fabricación de la aparatación eléctrica que requiere de su utilización debido a sus excelentes propiedades dieléctricas.

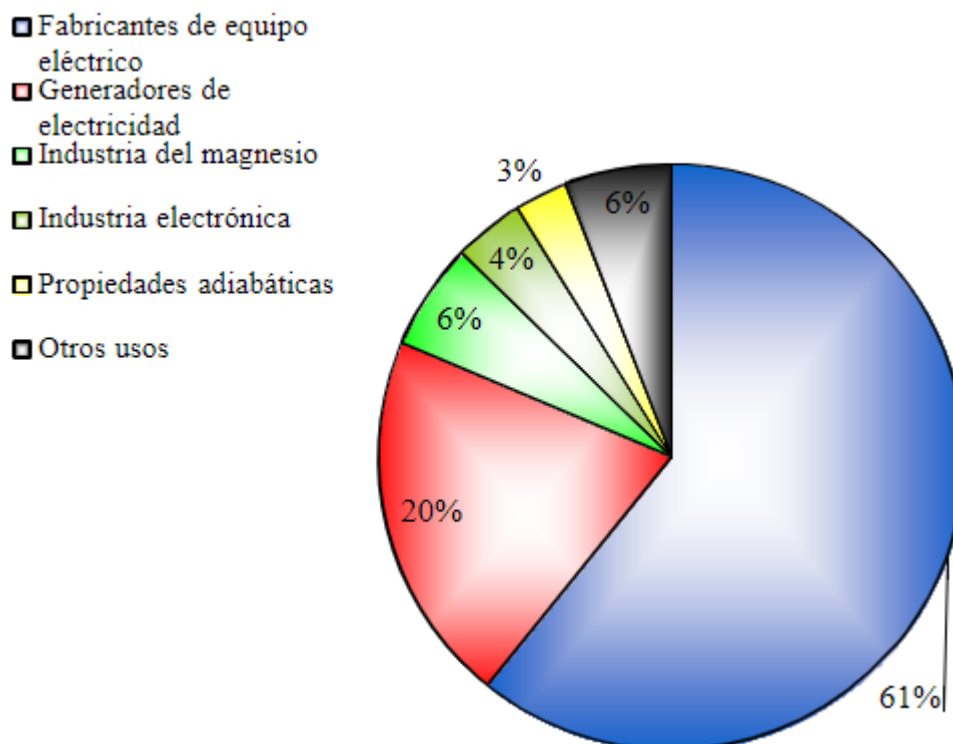


Ilustración 10.1 - Emisiones por aplicaciones industriales que usan el gas SF_6 [10].

Como consecuencia del normal funcionamiento de la instalación no se libera gas SF_6 a la atmósfera ya que cambia de estado con el aumento la temperatura provocado por el arco eléctrico favoreciendo el enfriamiento del mismo, pero al volver a bajar la temperatura el SF_6 vuelve a su estado molecular habitual sin sufrir pérdidas o alteraciones.

En condiciones excepcionales de fuga debido a una avería o debido a la recarga de las cámaras interiores de la aparatación de MT, es posible la liberación de una cantidad de gas a la atmosfera. Son las únicas acciones que pueden afectar a las celdas de MT del presente proyecto.

Por lo tanto, el SF₆ es la única sustancia peligrosa para el medio ambiente, o más claramente dicho en este caso, es la única sustancia encontrada en el desarrollo del trabajo que puede favorecer el efecto invernadero y así el cambio climático.

Por otra parte, cabe destacar que se han tratado de forma correcta los residuos generados en la ejecución del proyecto. Se han reciclado todos los desechos potencialmente reciclables como plásticos y cartones, y se han tratado correctamente los otros tipos de residuos.

Conclusiones

El telemando de los CT propiedad de la compañía suministradora es algo muy común, lo que es más inusual es el control remoto de los CT propiedad de un cliente que compra energía en MT.

A lo largo del presente proyecto, se ha realizado la automatización que requiere un CT de cliente para poder ser telemandado; de hecho, se ha puesto en práctica dicho control remoto en el CT didáctico del que dispone la EEBE en su laboratorio de instalaciones eléctricas de alta y baja tensión.

Para ello, primero se han estudiado los CT en general y posteriormente el trabajo se ha centrado en la documentación del funcionamiento de las celdas de MT que lo componen. Esta parte del trabajo ha sido fundamental para conocer el funcionamiento interno de las celdas, ya que, sin conocerlo con exactitud hubiera sido muy difícil plantear correctamente una automatización.

A partir de ahí, se han elaborado unos esquemas de lo existente y posteriormente se han confeccionado unas colecciones completas de esquemas funcionales y de conexionado de los distintos cuadros y elementos que componen el CT. Dichos esquemas han ido evolucionando a lo largo del proyecto hasta llegar a ser definitivos y, esto ha sucedido porque se planteaban funcionamientos erróneos o simplemente por la falta de material se tuvo que cambiar el criterio de funcionamiento y adaptarlo conforme al material del que se disponía.

Con los esquemas confeccionados se procedió al montaje y al cableado de toda la aparamenta nueva, incluido el autómatas y la pantalla táctil. Es la parte más dinámica del proyecto y la más delicada, porque el hecho de realizar mal el cableado podía suponer quemar o deteriorar algunos elementos. No fue así porque si el trabajo de diseño de los esquemas de conexionado se realiza de forma cuidadosa y ordenada con lo definido en los esquemas funcionales, no suelen surgir errores.

Cuando se tuvo todo montado y cableado, empezó la fase de la programación del autómatas y de la pantalla táctil en paralelo. Se consigue realizar una SCADA en el dispositivo HMI y que esta sea capaz de informar en todo momento del estado del autómatas y permita realizar maniobras remotamente, siempre cuando el selector esté en modo telemando. Se le incorporan también contadores de maniobras, de tal forma que al llegar a un número estipulado de estas salta un aviso en la pantalla recordando la falta de mantenimiento de la celda porque ha superado dicho máximo.

En la pantalla también se han añadido unas ventanas las cuales disponen unos históricos de alarmas o disparos que ha sufrido el CT, indicando la hora del fallo, la hora de aceptación por parte de un operario y la hora de reset de la alarma. Destacar la necesidad de simular las alarmas y los disparos desde la propia pantalla, ya que, al tratarse de un CT didáctico nunca se darán las condiciones para que se produzcan; de esta forma, se pueden simular y observar que pasa en caso de alarma o de disparo.

Podemos ver que, a lo largo del desarrollo del proyecto han surgido varios problemas, algunos como la falta de material, pero son los problemas que se hallan y deben solucionarse a la hora de realizar un prototipo de instalación, la cual no se ha tratado con anterioridad.

En definitiva, está claro que se ha modificado el funcionamiento del CT didáctico del laboratorio mejorándolo y aportándole seguridad, flexibilidad y comunicación. Esa era la razón del desarrollo del presente trabajo. Por otro lado, se deja toda la ampliación documentada en unos esquemas detallados y junto con los programas del autómata y la pantalla, para que de esta forma sirvan de base para posteriores mejoras o modificaciones.

Presupuesto

En este apartado, se pretende realizar un desglose de los diferentes gastos que ha supuesto la realización del proyecto, tanto es su fase de estudio como en la de implementación.

Los costes, por tanto, se desglosan en los siguientes grupos:

- Mano de obra
- Material
- Licencias de software

El valor de los costes de compra del material necesario para la implementación de la automatización coincide con el precio de venta al público (PVP) de la página web del fabricante o distribuidor. Del mismo modo el coste de las licencias de software que se especifican en este presupuesto.

Mano de Obra

El coste de mano de obra se divide en ingenieril, delineante, programador y técnica atendiendo a la naturaleza de las distintas tareas realizadas.

Con ello se expone la siguiente tabla especificando los costes asociados a la mano de obra para unas determinadas horas de trabajo.

Tabla 0.1 - Costes de mano de obra.

Tipo de Mano de Obra	Cantidad (horas)	Precio Unitario (€/h)	Precio (€)
Ingeniería	260	16,00	4160,00
Delineación	80	12,00	960,00
Programación	30	15,00	450,00
Técnica	230	18,00	4140,00
SUBTOTAL			9710,00

Material

A continuació, se expone una taula con los costes asociados a la adquisició del material necesario para la realizació del trabajo, así como para la implementación del mismo.

Tabla 0.2 - Costes del material necesario para la realización del proyecto.

Ud.	Referencia	Concepto	Precio Unitario (€)	Precio (€)
1	H07Z1-K R-MR 100	Cable Unipolar 1,5 mm2 LIBRE DE HALOGENOS H07Z1-K (100m) 750 V	15,95	15,95
1	H07Z1-K R-NG 100	Cable Unipolar 1,5 mm2 LIBRE DE HALOGENOS H07Z1-K (100m) 750 V	15,95	15,95
2	H25102409	Caja estanca 220x170x95	5,10	10,20
3	XB5AL73415	Pulsador Doble VER-ROJ IP66 Schneider	33,64	100,92
3	XB5AVM3	Indicador de Montaje en Panel LED, Verde, 240 Vac, 22 mm, IP66, NEMA 13	21,65	64,95
1	ZB4BS834	Botón de Emergencia Schneider Electric, 30 mm, IP66, Rojo, Seta	28,66	28,66
48	1SNK516010R0000	Bornas de Carril DIN de 4mm	1,79	85,92
25	AISC32	Tubo corrugado 32 mm (1 metro)	0,29	7,25
1	MF091	Carril DIN 1 m Perforado de 35x7,5 mm	4,72	4,72
6	LC1D09B7	Contactor 9A 1NA/1NC 24V 50/60Hz	23,58	141,48
1	LC1D12P7	Contactor 12A 1NA/1NC 230V 50/60Hz	24,97	24,97
1	A9F79110	Interruptor Magnetotérmico 10A 2P	34,49	34,49
1	A9E18321	Piloto iIL - verde - 110-230 V CA	29,43	29,43
1	BMXXBP0600	Rack 6 slots BMX XBP 0800	209,70	209,70
1	BMXCPS2000	Fuente alimentación PLC Schneider, M340, 240 Vac, 24V dc, 2,5 A, 20W	257,77	257,77

1	BMXP342020	Procesador 1024/256 E/S Discreto, Analógico	1267,12	1267,12
1	BMXDDI1602	Módulo de Entrada, Discreto, Serie Modicon M340, 16 Entradas, 24 Vac	186,00	186,00
1	BMXDDO1602	Módulo de Salidas, Discreto, Serie Modicon M340, 16 Salidas, 24 Vac	138,30	138,30
1	BMXAMM0600	Módulo de Entradas y Salidas analógicas	152,00	152,00
1	HMISTU855	Terminal táctil de 5,7" a color	465,12	465,12
1	16027935	Cable Ethernet 15 mts	8,51	8,51
15	-	Pequeño material	0,70	10,50
SUBTOTAL			3259,91¹	

Licencias de Software

Seguidamente se muestran los costes derivados del uso de las licencias de software utilizadas durante el desarrollo del trabajo.

Tabla 0.3 - Costes de las licencias de software empleadas en el proyecto.

Ud.	Referencia	Concepto	Precio Unitario (€)	Precio (€)
1	UNYSPUEFUV1X	Schneider Electric Unity Pro XL Completo Con Licencia	93,20	93,20
1	VJDUPDTGAV62M	Vijeo Designer - update 6.2 license - configuration software	34,65	34,65
SUBTOTAL			127,85	

¹ Precio total del material obtenido a partir de la suma de precios PVP de cada elemento según el catálogo del fabricante.

Presupuesto Final

Una vez desglosadas todas las partes, se realiza el sumatorio de estas y se obtienen los costes totales del presente proyecto.

Tabla 0.4 - Costes totales.

Concepto	Coste Total (€)
Mano de Obra	9710,00
Material	3259,91
Licencias	127,85
TOTAL	13097,76

Finalmente, destacar que el precio de 13.097,76 € es el precio de realización del prototipo. Este precio no sería aplicable a nuevas instalaciones iguales a la proyectada, puesto que el trabajo de investigación, documentación, definición de los esquemas, delineación y programación del autómatas y la pantalla ya no se tendrían que acometer en futuros trabajos.

Por lo tanto, el precio de mercado de la automatización de un CT de cliente sería la suma del material y la mano de obra, más los beneficios que uno quiera obtener. Sumando el precio del material (3.260€)¹ más las horas de instalación y añadiendo un 10% de beneficio, el precio de la automatización de un CT sería de aproximadamente 4.000 €.

¹ Los precios PVP de los materiales son relativamente caros cuando son comprados por particulares o bien cuando se compran en pequeñas cantidades. Si fueran comprados por una empresa y en mayores cantidades, pueden llegar a obtener descuentos de hasta un 60% en ciertos productos y, por lo tanto, el precio final bajaría notablemente de los 4.000 €.

Bibliografía

- [1] R. Capella, «Centros de Transformación MT/BT,» Schneider Electric España S.A., Barcelona, 2000.
- [2] BOE-A-2014-6084, Real Decreto 337/2014, «Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23,» 9 Mayo 2014.
- [3] A. Guerrero Fernández, «Configuración de los centros de transformación,» de *Instalaciones de distribución*, McGraw-Hill Interamericana de España S.L., 2010, pp. 7-38.
- [4] Ingeniería Eléctrica, «Seguridad eléctrica, PAT, protección contra sobretensiones y fusibles,» 2014.
- [5] Schneider Electric España, «Equipos didácticos de Media Tensión,» Instituto Schneider Electric de Formación, 2010 - 2011.
- [6] Schneider Electric, «Sistemas de protección y maniobra en Media Tensión. Celdas de protección SM6.».
- [7] J. E. Castro Sánchez, «Centros de Transformación,» Mayo 2010. [En línea]. Available: <https://electricos.org/documentos/instalaciones-electricas-de-enlace-1/622-iee-centros-de-transformacion-en-andalucia-1/file>. [Último acceso: 26 02 2019].
- [8] Juan José Manzano Orrego, Electricidad I. Teoría básica y prácticas, Barcelona, Barcelona: Marcombo, 2007.
- [9] Schneider Electric, [En línea]. Available: <https://www.schneider-electric.com/>.
- [10] Flores R., Delgado F, Romero V., «Aplicaciones del SF6 en la Industria Eléctrica y su Impacto en el Medio Ambiente,» *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY*, vol. 16, nº 3, pp. 229-241, 2012.

Índice de Ilustraciones

Ilustración 3.1 - Esquema del sistema de suministro eléctrico. _____	6
Ilustración 3.2 - CT según su alimentación. _____	8
Ilustración 3.3 - Esquemas de base de una red de distribución de MT. Radial y en bucle abierto [1].	8
Ilustración 3.4 - Esquema de distribución en bucle abierto [1]. _____	9
Ilustración 3.5 - Esquema de distribución en doble procedencia [1]. _____	9
Ilustración 3.6 - Esquema de un CT aéreo [3]. _____	10
Ilustración 3.7 - CT Convencional [3]. _____	11
Ilustración 3.8 - Tipos de CT según su disposición constructiva. CT convencional, CT de obra, CT prefabricado y CT compacto [3]. _____	12
Ilustración 3.9 - Simbología para la representación de esquemas [1]. _____	15
Ilustración 3.10 - Celda de llegada o salida de línea, sin y con autoválvula respectivamente [1].	16
Ilustración 3.11 - Celda de seccionamiento y celda de seccionamiento y remonte respectivamente [1]. _____	16
Ilustración 3.12 - Diversos tipos de celdas de protección entre los muchos que existen [1]. _____	17
Ilustración 3.13 - Diversos tipos de celdas de medida [1]. _____	17
Ilustración 3.14 - Esquemas tipo de CT de cliente [1]. _____	19
Ilustración 3.15 - Esquemas tipo de CT de red pública [1]. _____	19
Ilustración 3.16 - Detalle y funcionamiento del Relé Buchholz [1]. _____	22
Ilustración 3.17 - Molécula de SF ₆ [1]. _____	25
Ilustración 4.1 - Configuración del CT didáctico de la EEBE [5]. _____	27
Ilustración 4.2 - Centro de transformación didáctico de la EEBE. _____	28
Ilustración 4.3 - CT didáctico de la EEBE desmontado. _____	29
Ilustración 4.4 - Celda de línea. ISEFSIM16M Motorizada. _____	30
Ilustración 4.5 - Croquis de una celda de línea [5]. _____	30
Ilustración 4.6 - Parte interna de la celda de línea, mecanismos y cableado. _____	31
Ilustración 4.7 - Mecanismo de operación con motor de la celda de línea [6]. _____	32
Ilustración 4.8 - Regletas de bornes de la celda de línea. _____	32
Ilustración 4.9 - Fotografía de detalle de algunos finales de carrera de la celda de línea. _____	33
Ilustración 4.10 - Interruptor-seccionador bajo carga o de aislamiento [6]. _____	33

Ilustración 4.11 - Detalles del mecanismo de accionamiento. _____	35
Ilustración 4.12 - Detalle de la rotación de la parte móvil en los interruptores-seccionadores de MT [6]. _____	36
Ilustración 4.13 - Accionamiento del enclavamiento mecánico de la puerta frontal de acceso a los cables de MT, y el cambio del accionamiento la compuerta abierta o cerrada. _____	37
Ilustración 4.14 - Detalle de la leva que impide insertar la manivela. _____	38
Ilustración 4.15 - Detalle del mecanismo del enclavamiento eléctrico que se acciona en el caso de que esté la palanca de maniobra en el orificio de mando. _____	40
Ilustración 4.16 - Enclavamiento por cerradura o de seguridad mecánica. _____	40
Ilustración 4.17 - Celda de seccionamiento y remonte. SSME16. _____	41
Ilustración 4.18 - Cajón BT de la celda de seccionamiento y remonte. _____	42
Ilustración 4.19 - Celda de Protección SDM1D16M. _____	44
Ilustración 4.20 - Croquis de una celda de protección por interruptor automático [5]. _____	44
Ilustración 4.21 - Cajón de BT de la celda de protección (bornas X8 a la izquierda y bornas X7 a la derecha). _____	45
Ilustración 4.22 - Mecanismo de disparo y carga de resortes [6]. _____	46
Ilustración 4.23 - Detalle del principio de funcionamiento del interruptor automático [7]. _____	47
Ilustración 4.24 - Detalle del interruptor automático con sus toroidales asociados [1]. _____	48
Ilustración 4.25 - Detalle de la SEPAM. _____	49
Ilustración 4.26 - Celda de Medida. ISEFSGBC2C3316 de 3 TT y 3 TI. _____	50
Ilustración 4.27 - TTs y TIs del interior de la celda de medida. _____	51
Ilustración 4.28 - Esquemas de TI más comunes según sus arrollamientos [1]. _____	51
Ilustración 4.29 - Placa de características de los TIs. _____	52
Ilustración 4.30 - Esquemas de TT más comunes según su número de arrollamientos [1]. _____	53
Ilustración 4.31 - Placa de características de los TTs. _____	53
Ilustración 4.32 - Celda de transformación. _____	54
Ilustración 4.33 - Croquis de un transformador de aceite. _____	55
Ilustración 4.34 - Detalles del transformador de potencia. _____	56
Ilustración 4.35 - Detalle de las protecciones propias del trafo. _____	57
Ilustración 5.1 - Fotografía de las protecciones propias del trafo sin cablear. _____	61
Ilustración 6.1 - Detalla del ACP al principio del proyecto, con pocas bornas y sin cablear. _____	67

Ilustración 6.2 - Orificio practicado al lateral izquierdo del ACP para facilitar el cableado. _____	67
Ilustración 6.3 - Instalación de la canaleta en la superficie de las celdas. _____	68
Ilustración 6.4 - Detalle del proceso de cableado de las celdas. _____	68
Ilustración 6.5 - Detalle del mecanizado y de la instalación de la caja CML. _____	69
Ilustración 6.6 - Detalle de la instalación de la canalización por la cual discurren los conductores de control y señalización. _____	69
Ilustración 6.7 - Cuadro de mando local instalado. _____	70
Ilustración 6.8 - Detalle de la instalación del final de carrera en la puerta de la celda de transformación. _____	71
Ilustración 7.1 - El autómatas M340 con sus tarjetas insertadas en el rack. _____	74
Ilustración 7.2 - Software Unity Pro XL [9]. _____	74
Ilustración 7.3 - Configuración del autómatas sobre el rack según el software Unity Pro XL. _____	75
Ilustración 8.1 - Dispositivo HMI. Pantalla táctil empleada en el proyecto [9]. _____	80
Ilustración 8.2 - Licencia del software Vijeo Designer [9]. _____	80
Ilustración 8.3 - Variables definidas en el Vijeo Designer (1). _____	81
Ilustración 8.4 - Variables definidas en el Vijeo Designer (2). _____	82
Ilustración 8.5 - Pantalla principal. _____	83
Ilustración 8.6 - Pantalla de sinóptico o de SCADA del CT de la EEBE. _____	83
Ilustración 8.7 - Ventanas emergentes que aparecen en pantalla cuando se pulsa encima de los sinópticos de las celdas de línea o de protección. _____	84
Ilustración 8.8 - Pantalla de maniobras. _____	85
Ilustración 8.9 - Pantalla de alarmas. _____	85
Ilustración 8.10 - Pantalla de disparos. _____	86
Ilustración 8.11 - Pantalla de la celda de transformación. _____	86
Ilustración 8.12 - Pantalla de estado del CT. _____	87
Ilustración 8.13 - Ventanas emergentes de la pantalla de estado del CT. _____	87
Ilustración 9.1 - Situación y emplazamiento de la pantalla táctil. Dispositivo HMI. _____	89
Ilustración 9.2 - Detalle de la instalación de la pantalla táctil. Dispositivo HMI. _____	90
Ilustración 10.1 - Emisiones por aplicaciones industriales que usan el gas SF ₆ [10]. _____	91

Índice de Tablas

Tabla 3.1 - Clasificación de tensiones según la norma CEI-71 respectivamente el MIE RAT 12. ____	5
Tabla 3.2 - Clasificación de tensiones en los círculos profesionales. _____	5
Tabla 0.1 - Costes de mano de obra. _____	95
Tabla 0.2 - Costes del material necesario para la realización del proyecto. _____	96
Tabla 0.3 - Costes de las licencias de software empleadas en el proyecto. _____	97
Tabla 0.4 - Costes totales. _____	98

Anexo A: Planos de Colecciones de Esquemas Eléctricos

A continuación, se exponen las distintas colecciones de planos y esquemas que se han confeccionado a lo largo del trabajo para definir de forma correcta el CT.


Las colecciones de esquemas, por orden son las siguientes:

- A1.1. F000 - Unifilar y Frontal CT
- A1.1. F001 - Funcional
- A2.1. CACP - Conexionado del Armario de Control y Protección (Rojo)
- A2.2. CCML - Conexionado del Cuadro de Mando Local (Rojo)
- A2.3. CCMT - Conexionado de las Celdas de Media Tensión (Rojo)
- A3.1. CACP - Conexionado del Armario de Control y Protección
- A3.2. CCML - Conexionado del Cuadro de Mando Local
- A3.3. CCMT - Conexionado de las Celdas de Media Tensión

CENTRO DE TRANSFORMACIÓN DIDÁCTICO
ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST
EEBE — UPC


ESQUEMA UNIFILAR
Y VISTA FRONTAL DEL CT

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONTECH Escola d'Enginyeria de Barcelona Est	PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS	FECHA: 05-2019
	DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS	
	REF : ---	

	AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE		UPC — EEBE ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST	
	ESQUEMA UNIFILAR CT		LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT	
	PORTADA		CT.00000.F000	00
	FECHA: 05-19	ESCALA: —	F00-00.DWG	N*HOJAS 03 N*HOJA 00

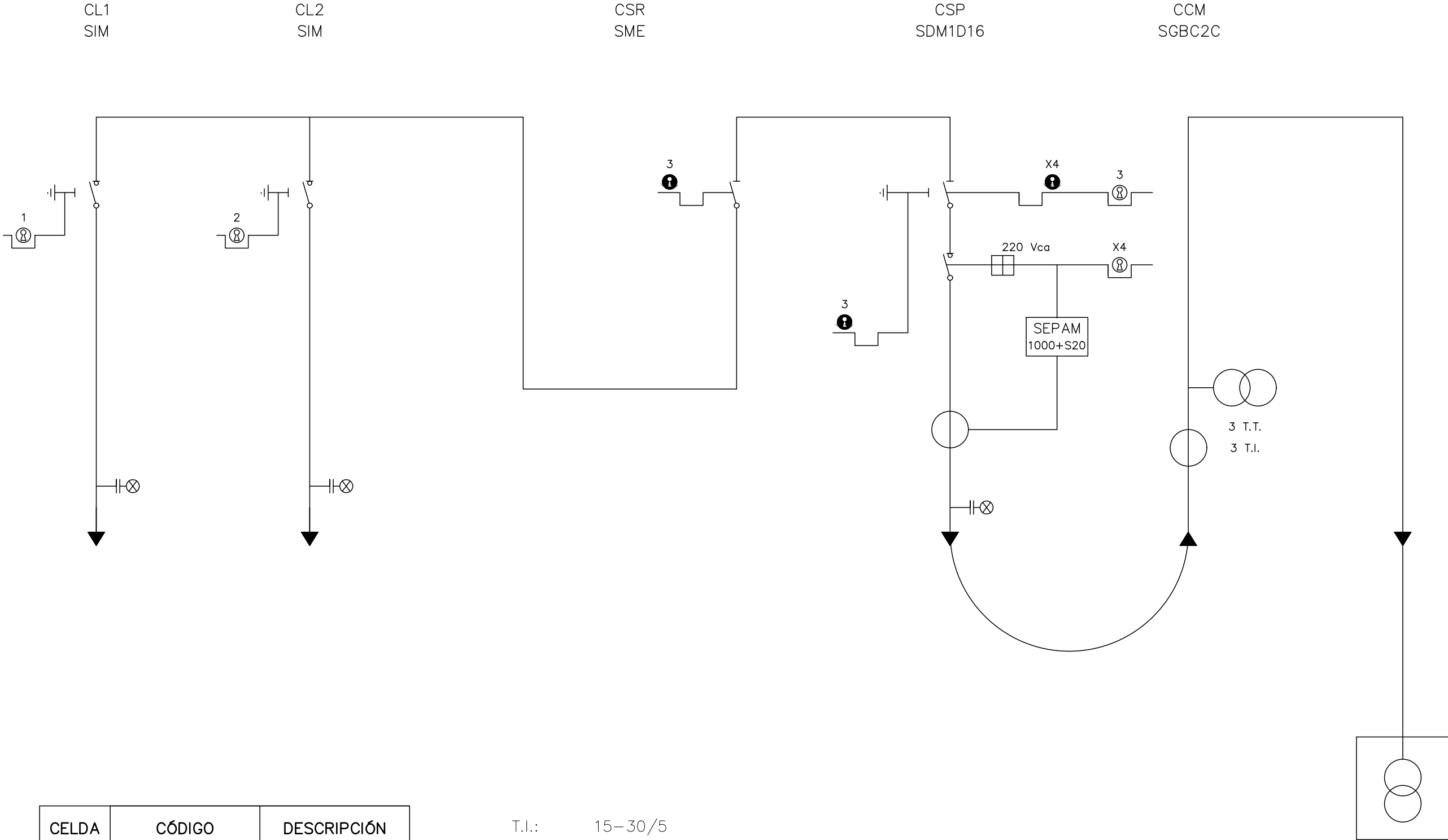
PROYECTADO :	ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO :	ANTONI MARQUÉS
REF :	FECHA: 05-2019

[illegible]

		AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL		UPC — EEBE	
		CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE		ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST	
FECHA: 05-19 ESCALA: —		ESQUEMA UNIFILAR CT ÍNDICE		LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT	
				CT.00000.F000	
				00	
		F00-01.DWG		NºHOJAS 03	NºHOJA 01

A
B
C
D
E
F
G
H
I


ESQUEMA UNIFILAR



CELDA	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
CL1	ISEFSIM16M	MOTORIZADA
CL2	ISEFSIM16M	MOTORIZADA
CSR	ISEFSSME116	
CSP	ISEFSDM1DS2016M	MOTORIZADA
CCM	ISEFSGBC2C3316	3T.T. + 3T.I.

T.I.: 15–30/5
10VA – cl0.5 S
J24BD

T.T.: 16500:V3/110:V3
25VA cl0.5 s
E24BFA

	AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE	UPC – EEBE ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST	
	ESQUEMA UNIFILAR CT	LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT	
	ESQUEMA ISEF TIPO ABONADO 3	CT.00000.F000	00
FECHA: 05–19	ESCALA: –	F00–02.DWG	N*HOJAS 03 N*HOJA 02

A
B
C
D
E
F
G
H
I

A

B

C

D

E

F

G

H

I

A

B

C

D

E

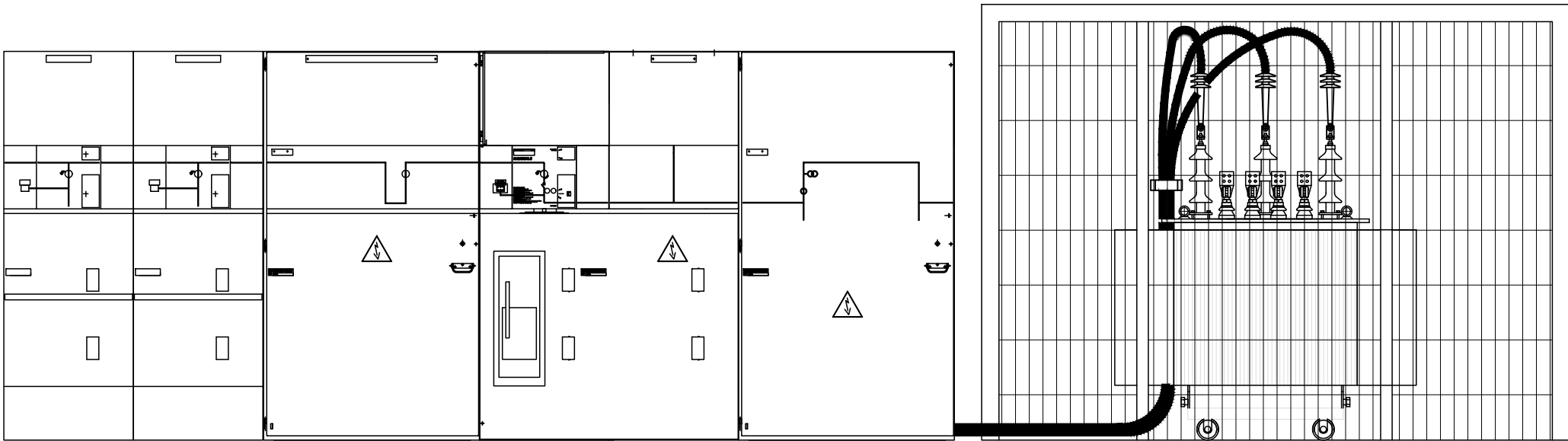
F

G

H

I

VISTA FRONTAL DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN



 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola d'Enginyeria de Barcelona Est	PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS	FECHA: 05-2019
	DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS	
	REF : ---	

 UPC	AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE	UPC — EEBE ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST	
	ESQUEMA UNIFILAR CT	LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT	
	VISTA FRONTAL CT	CT.00000.F000	00
FECHA: 05-19	ESCALA: 1:25	F00-03.DWG	N*HOJAS 03 N*HOJA 03


CENTRO DE TRANSFORMACIÓN DIDÁCTICO
ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST
EEBE — UPC

ESQUEMA FUNCIONAL
CIRCUITOS DE CONTROL Y PROTECCIÓN

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONTECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS
REF : ---

FECHA: 05-2019



FECHA: 05-19

ESCALA: -

AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL
CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE

ESQUEMA FUNCIONAL
CIRCUITOS CONTROL Y PROTECCIÓN

PORTADA

UPC — EEBE
ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST


LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT

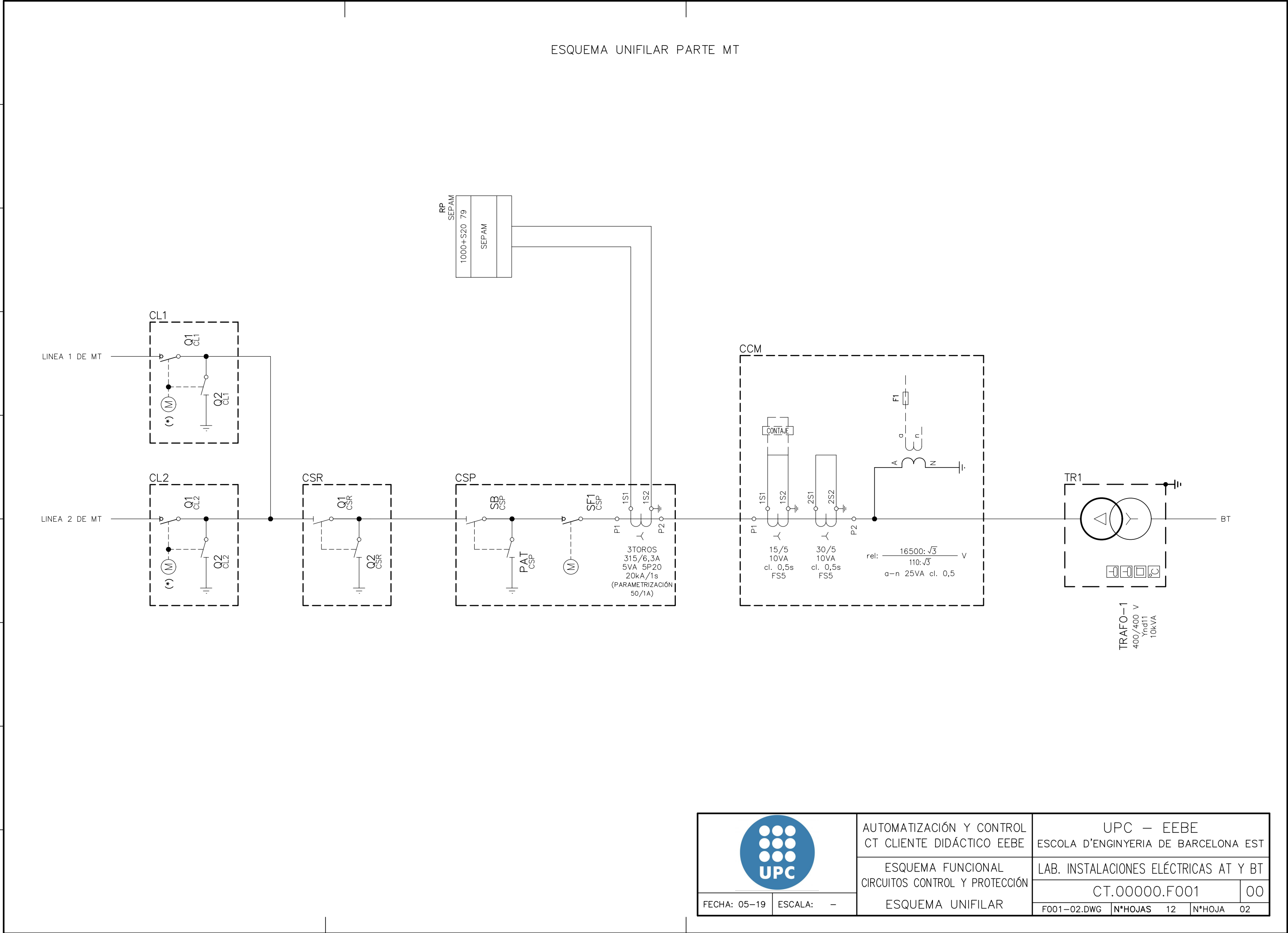
CT.00000.F00100

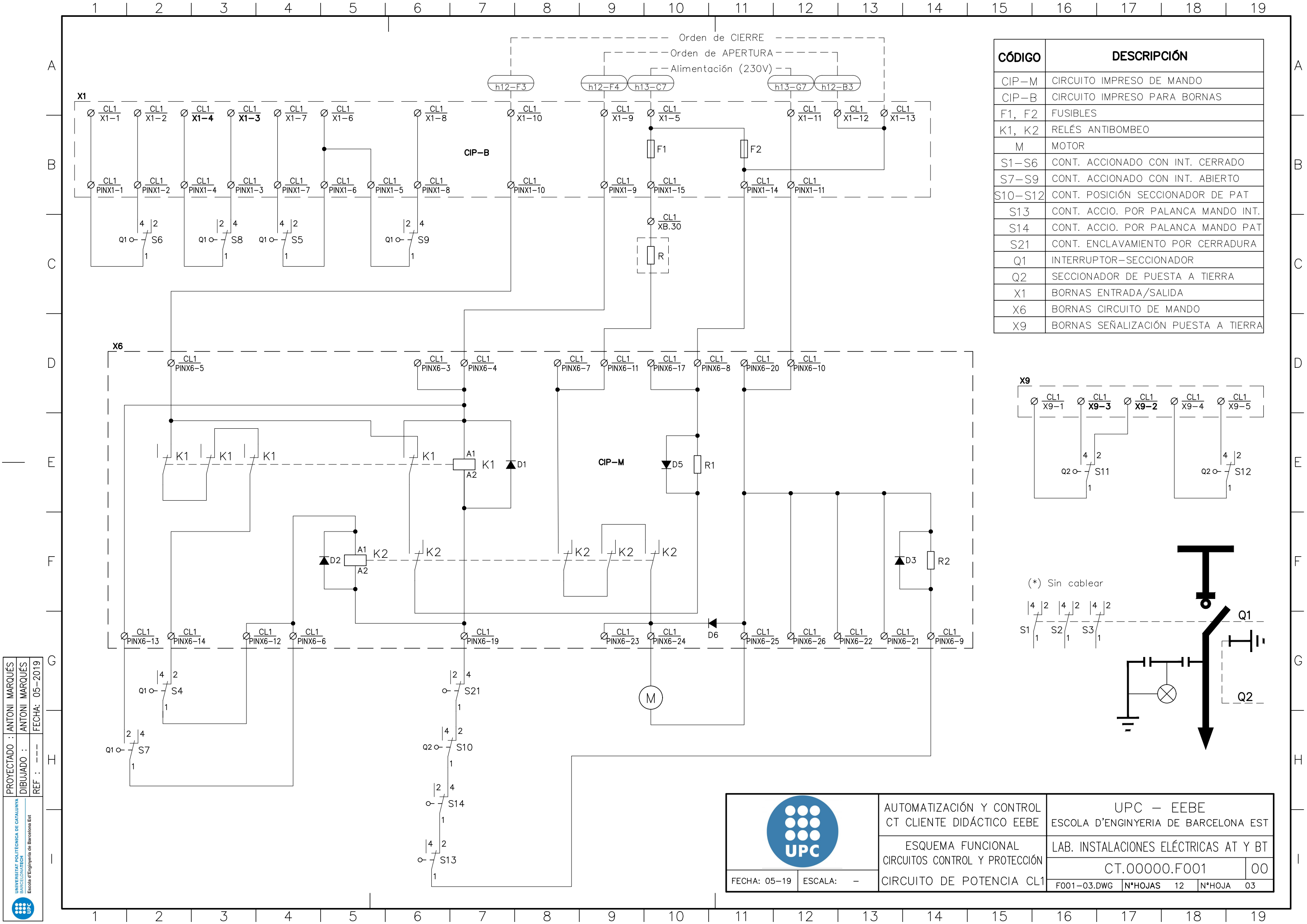
F001-00.DWG N°HOJAS 12 N°HOJA 00

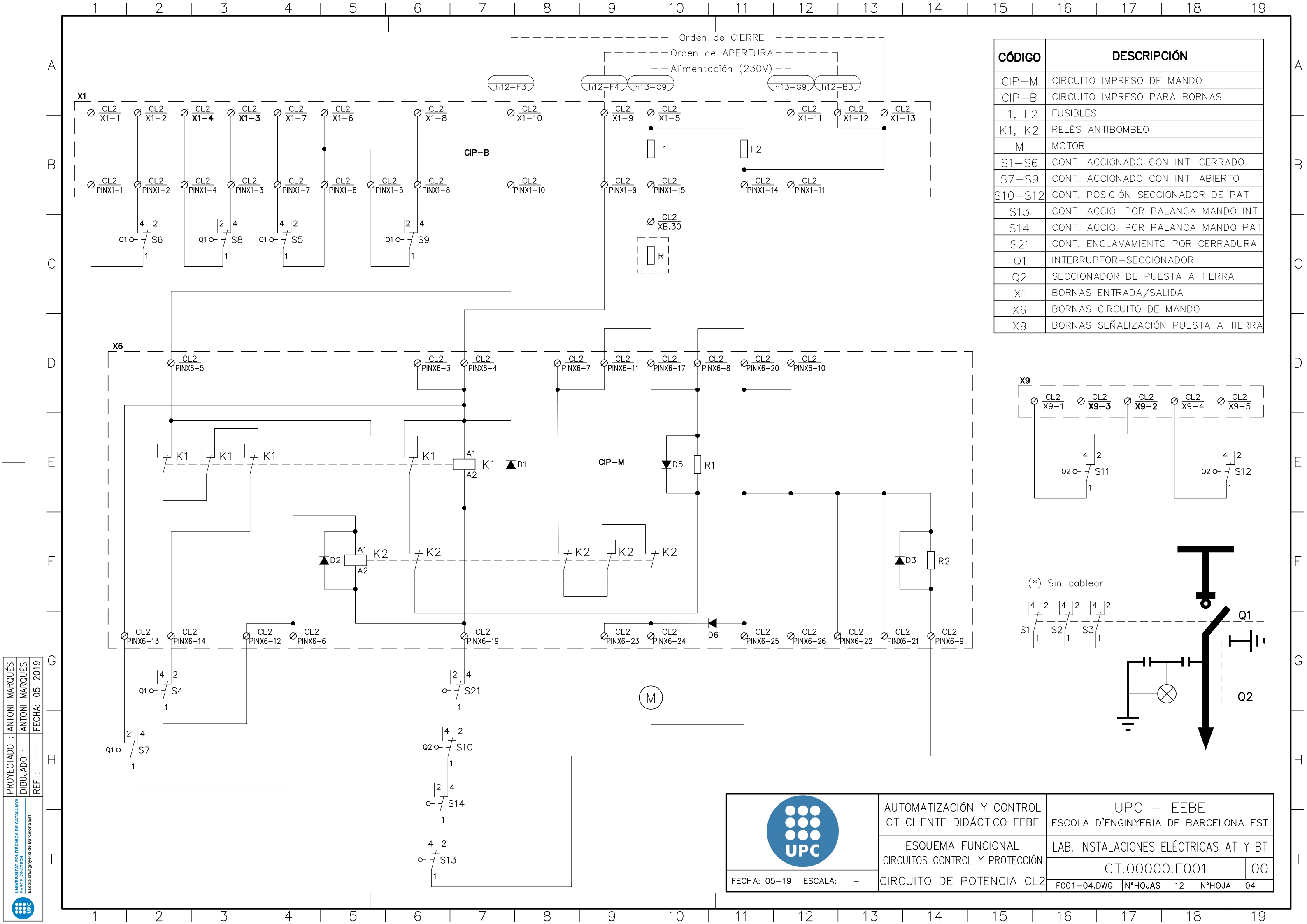
PROYECTADO :	ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO :	ANTONI MARQUÉS
REF :	FECHA: 05-2019

[illegible]

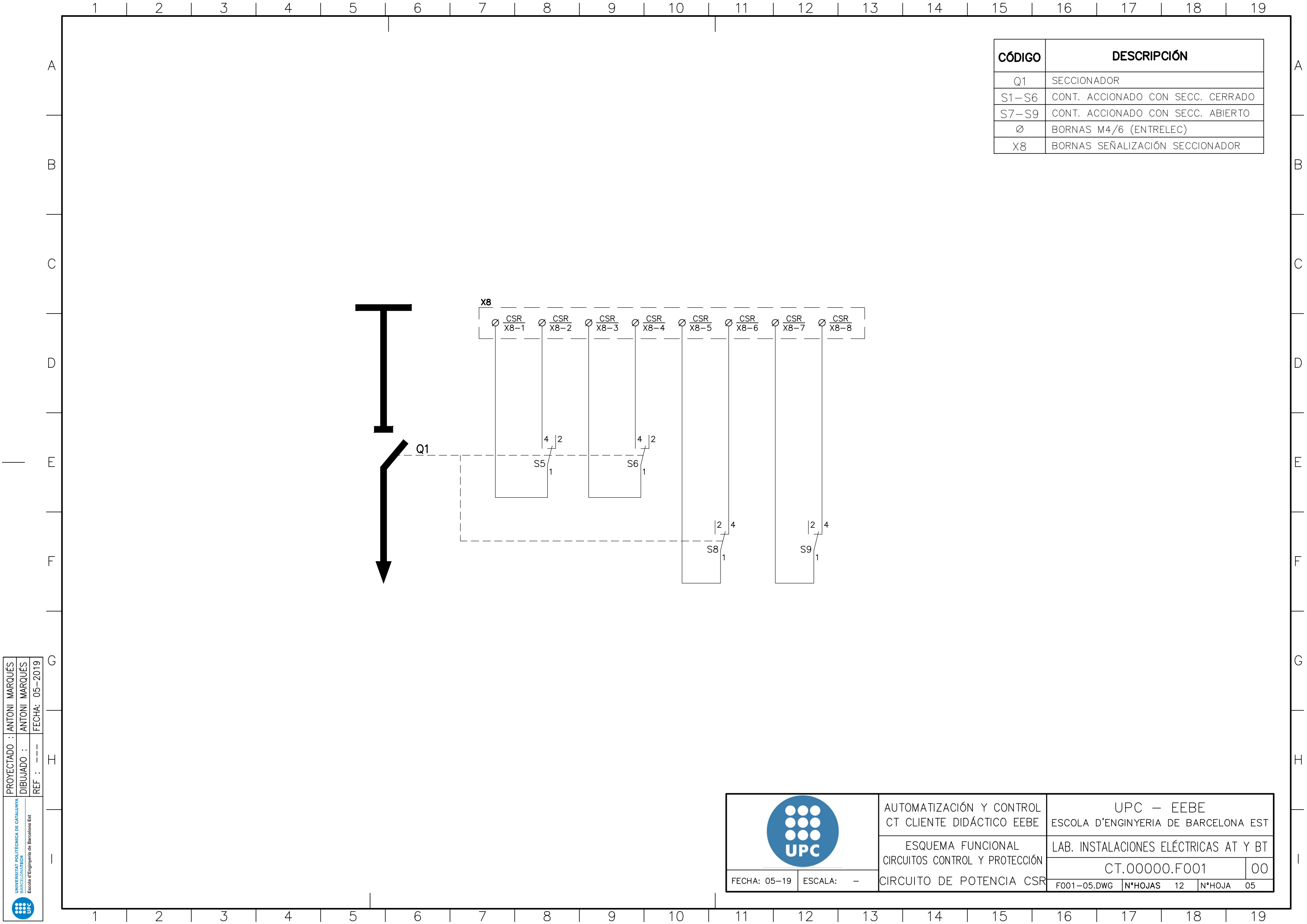
		AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL		UPC — EEBE	
		CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE		ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST	
		ESQUEMA FUNCIONAL		LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT	
FECHA: 05-19 ESCALA: —		CIRCUITOS CONTROL Y PROTECCIÓN		CT.00000.F001	
		ÍNDICE DE ESQUEMAS		00	
		F001-01.DWG	NºHOJAS	12	NºHOJA 01







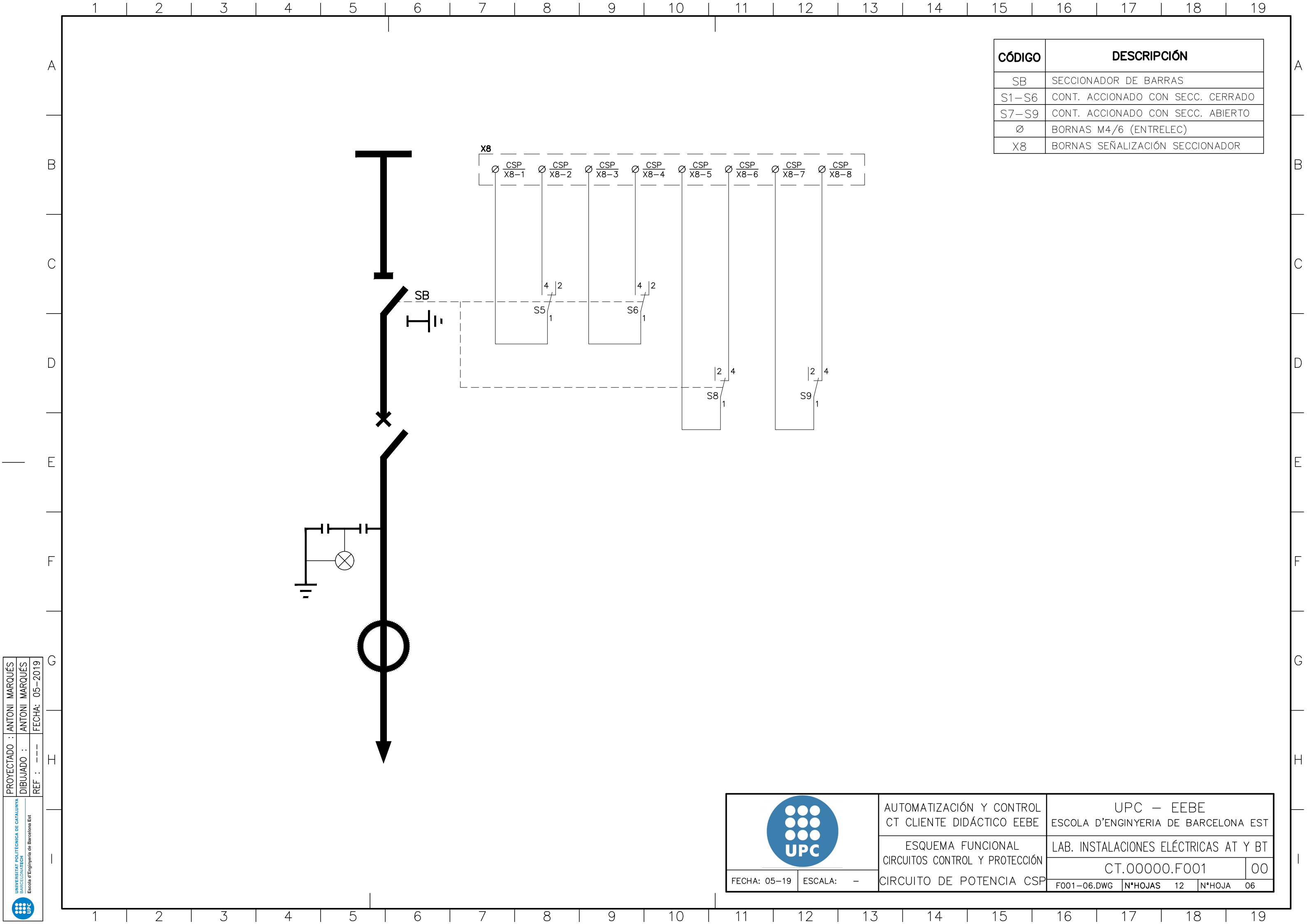
PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS
REF : ---
FECHA: 05-2019



CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
Q1	SECCIONADOR
S1–S6	CONT. ACCIONADO CON SECC. CERRADO
S7–S9	CONT. ACCIONADO CON SECC. ABIERTO
Ø	BORNAS M4/6 (ENTRELEC)
X8	BORNAS SEÑALIZACIÓN SECCIONADOR

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola d'Enginyeria de Barcelona Est	PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS
	DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS
	REF : ---
FECHA: 05-2019	

	AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE		UPC – EEBE ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST	
	ESQUEMA FUNCIONAL CIRCUITOS CONTROL Y PROTECCIÓN		LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT	
	CIRCUITO DE POTENCIA CSR		CT.00000.F001	00
FECHA: 05-19	ESCALA: –	F001-05.DWG	N*HOJAS 12	N*HOJA 05




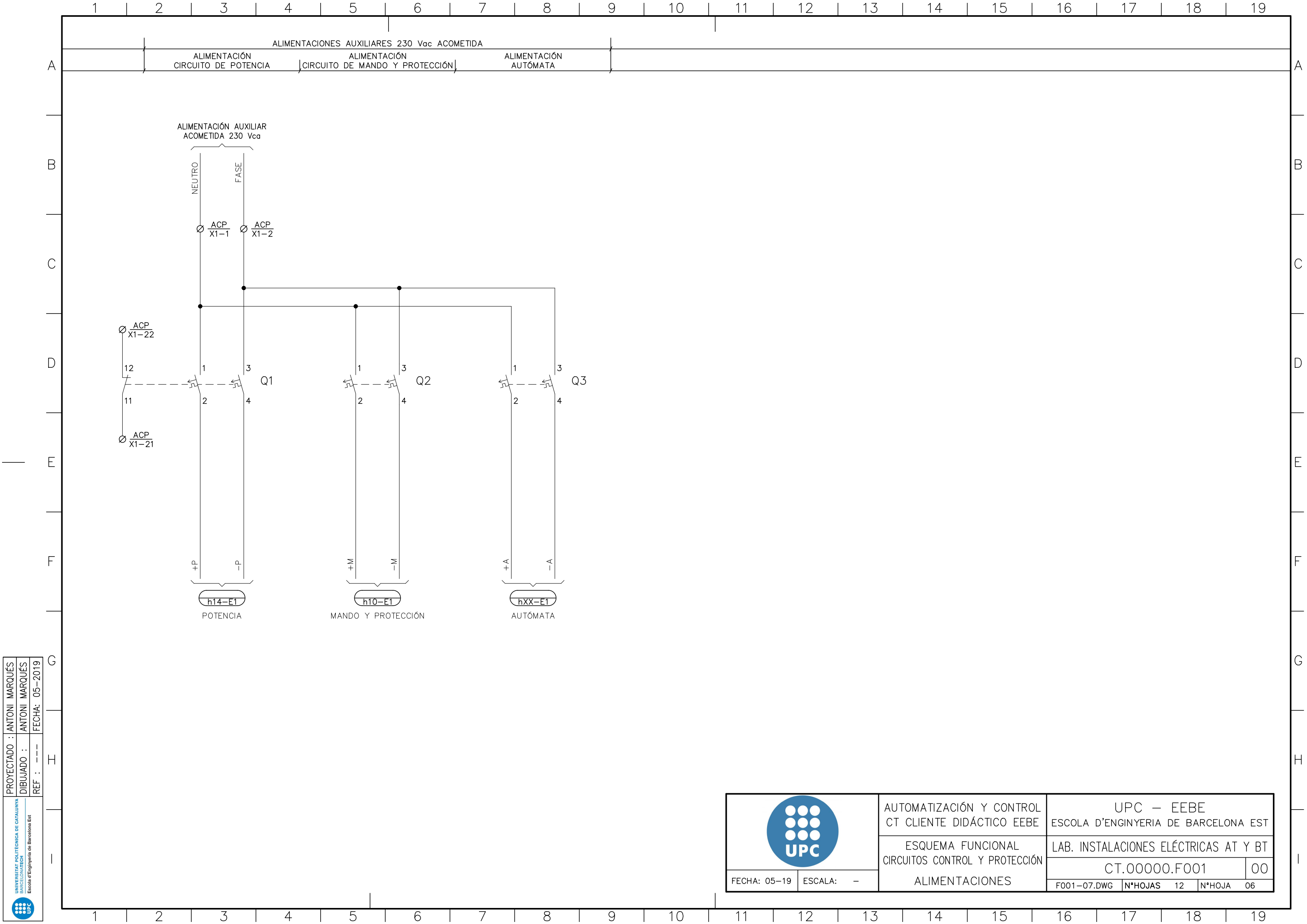
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
SB	SECCIONADOR DE BARRAS
S1–S6	CONT. ACCIONADO CON SECC. CERRADO
S7–S9	CONT. ACCIONADO CON SECC. ABIERTO
Ø	BORNAS M4/6 (ENTRELEC)
X8	BORNAS SEÑALIZACIÓN SECCIONADOR

PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS
REF : ---
FECHA: 05-2019


UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONTECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

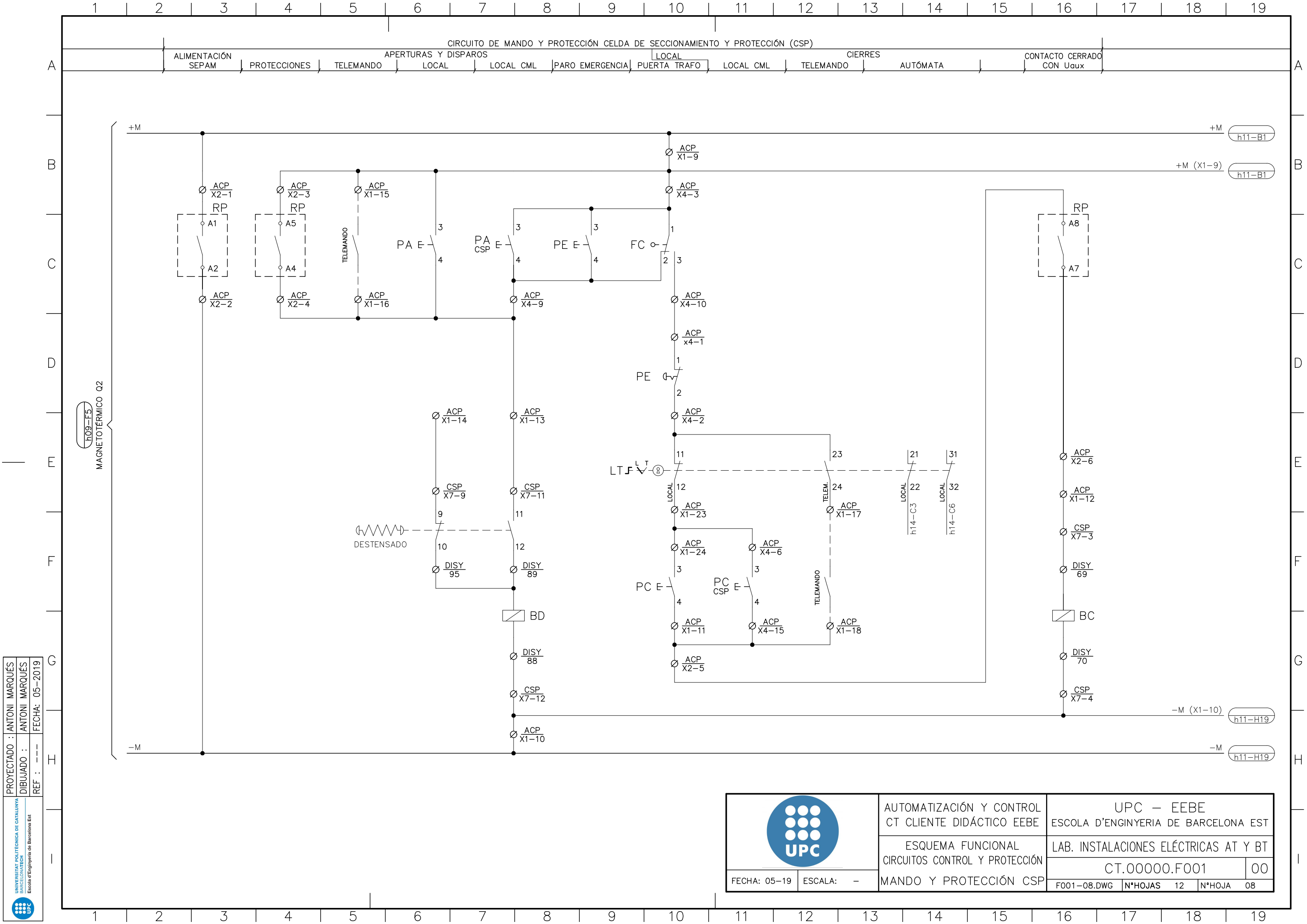
UPC

	AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE		UPC – EEBE ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST	
	ESQUEMA FUNCIONAL CIRCUITOS CONTROL Y PROTECCIÓN		LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT	
	CIRCUITO DE POTENCIA CSP		CT.00000.F001	00
FECHA: 05-19	ESCALA: –	F001-06.DWG	N*HOJAS 12	N*HOJA 06

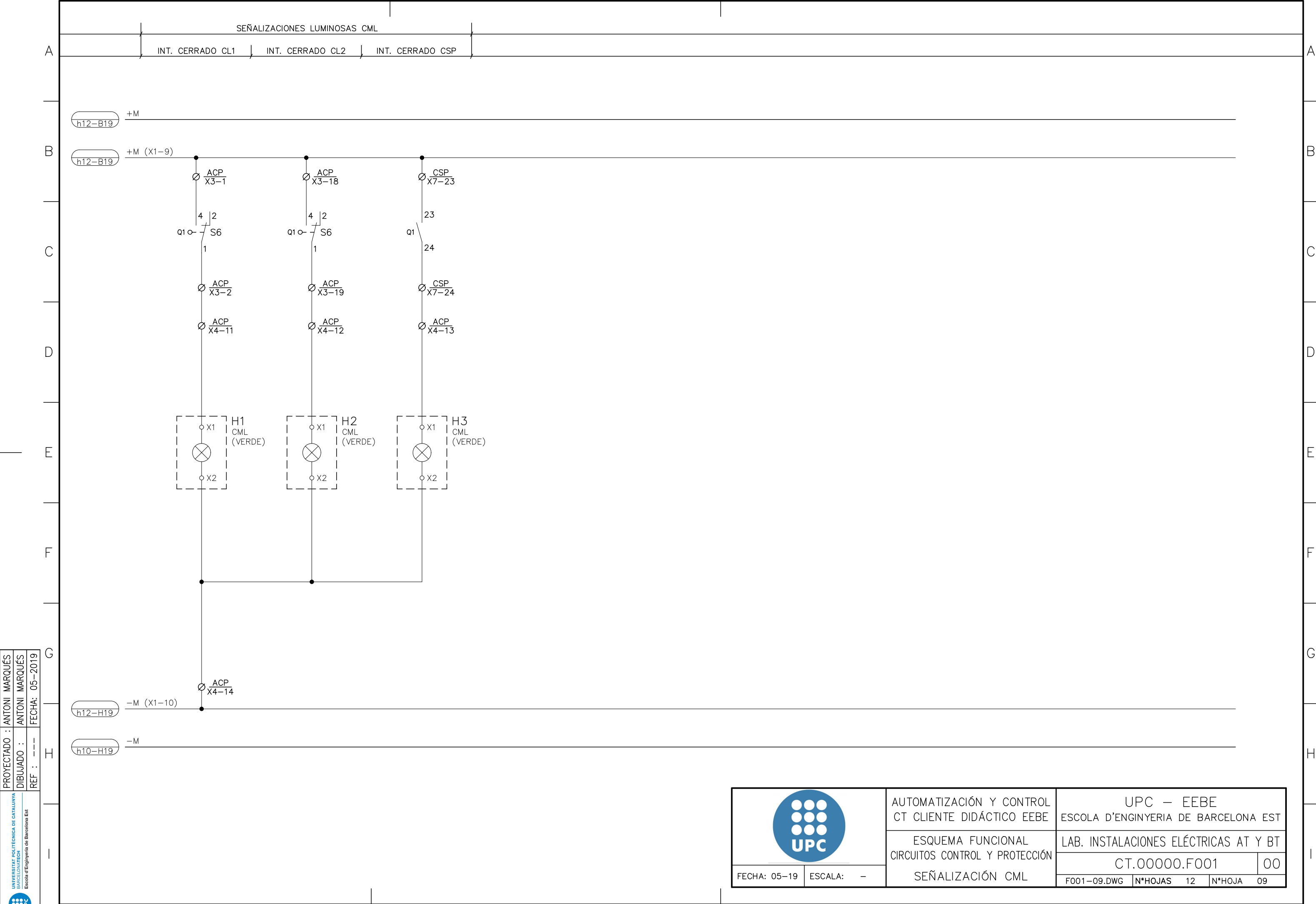


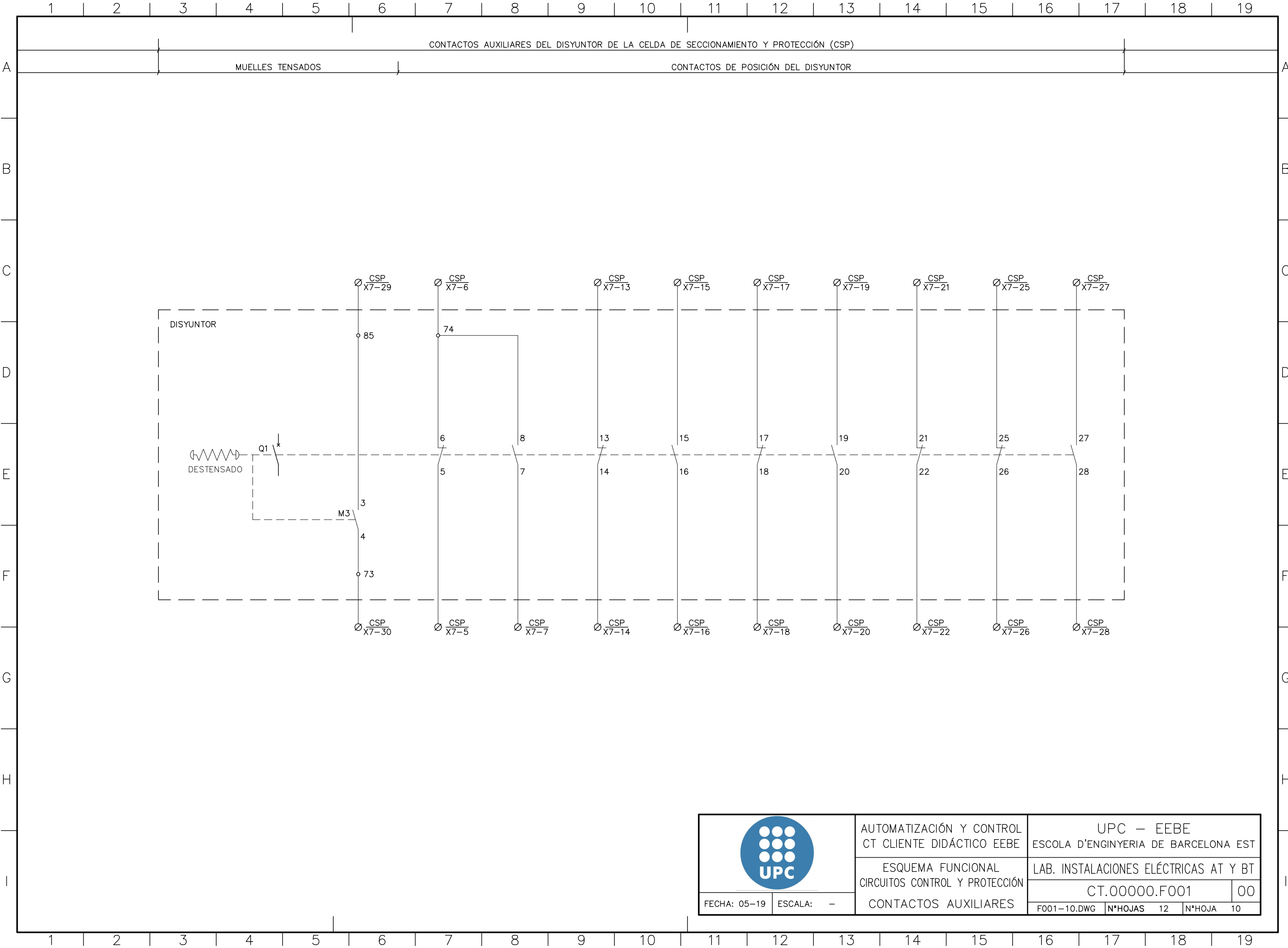
PROYECTADO :	ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO :	ANTONI MARQUÉS
REF :	---
FECHA:	05-2019

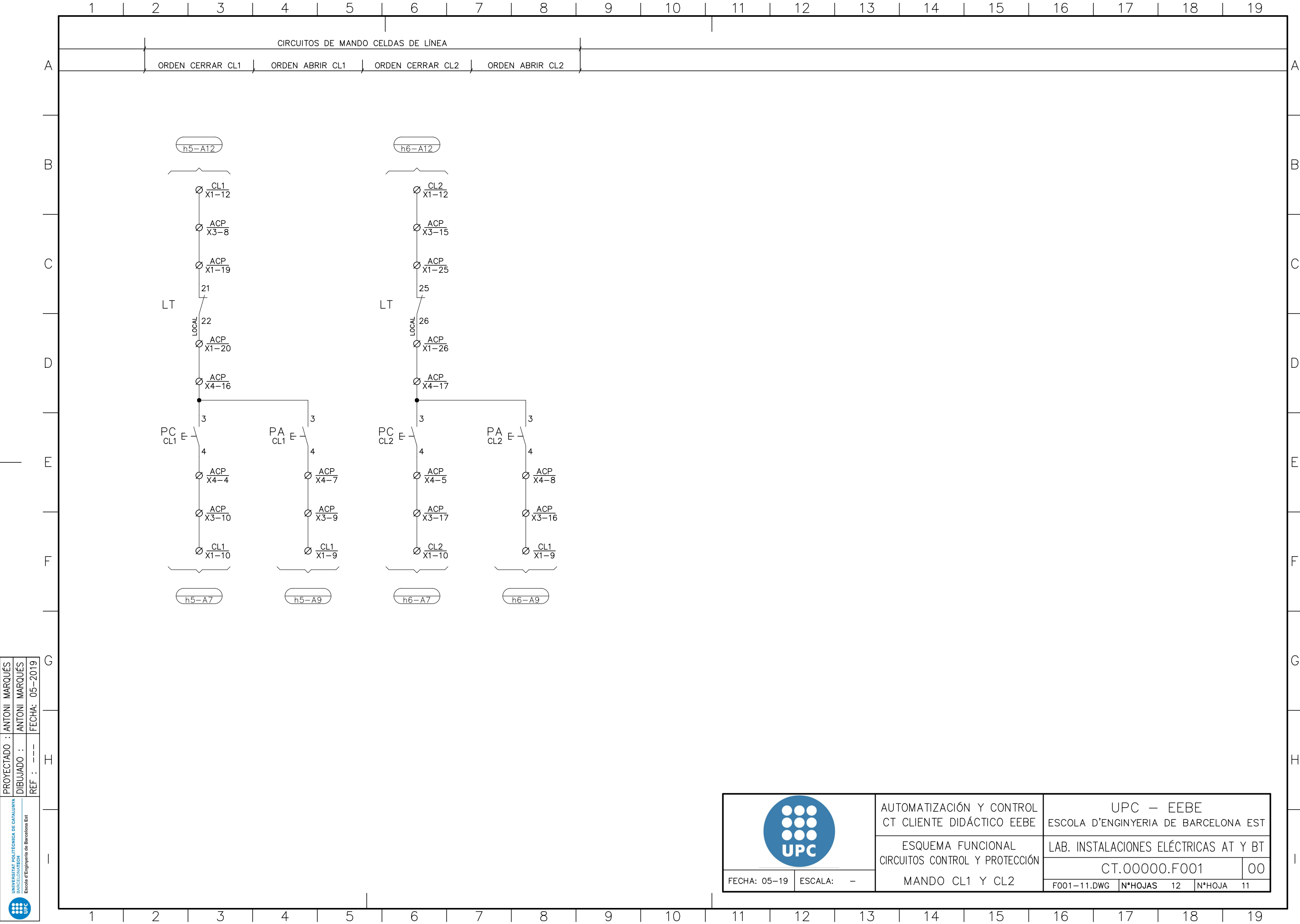
	AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE		UPC — EEBE ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST			
	ESQUEMA FUNCIONAL CIRCUITOS CONTROL Y PROTECCIÓN		LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT			
	ALIMENTACIONES		CT.00000.F001		00	
	FECHA: 05-19	ESCALA: -	F001-07.DWG	NºHOJAS 12	NºHOJA 06	

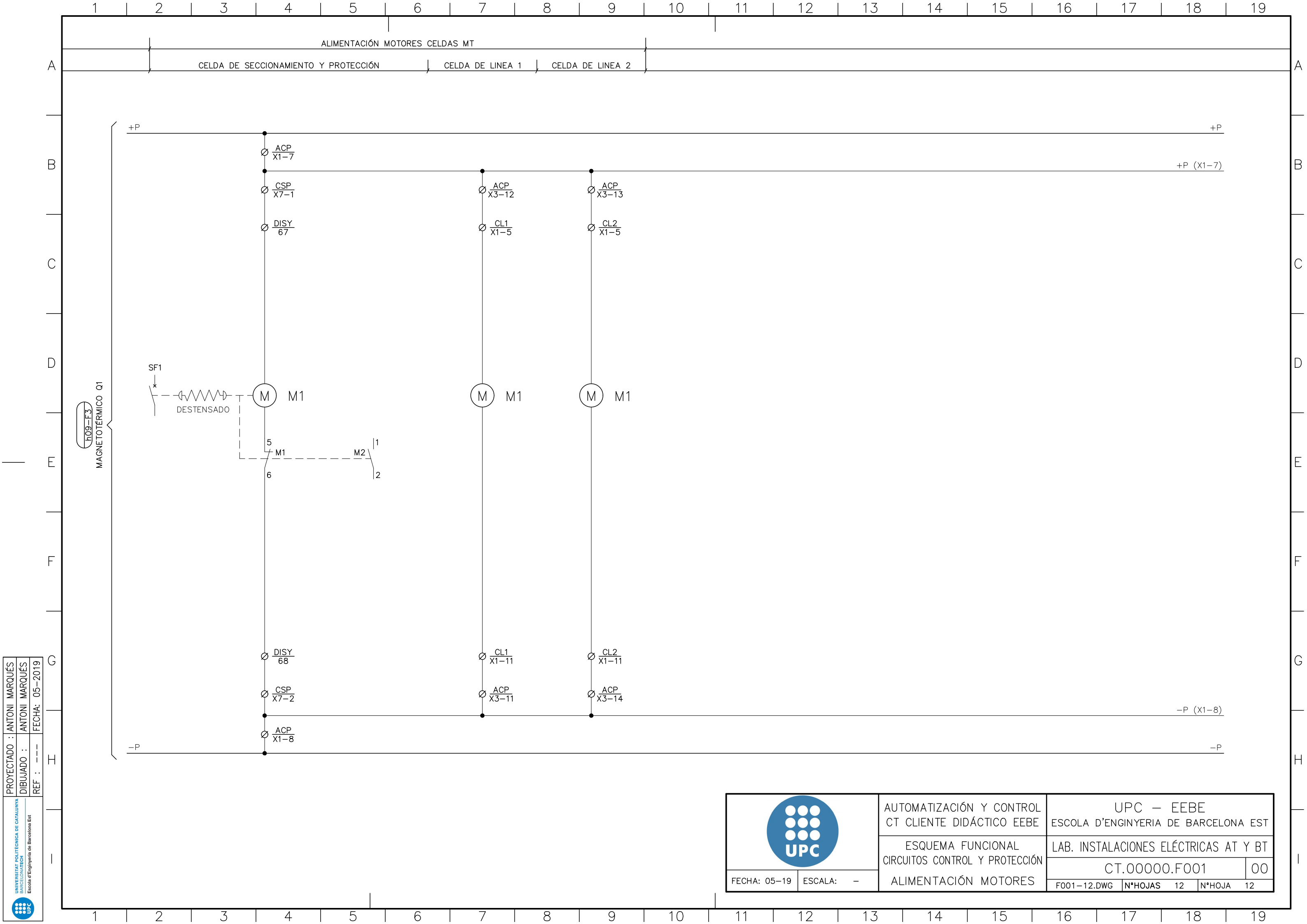


PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS
REF : ---
FECHA: 05-2019









PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS
REF : ---
FECHA: 05-2019


CENTRO DE TRANSFORMACIÓN DIDÁCTICO
ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST
EEBE – UPC

ESQUEMA DE CONEXIONADO
ARMARIO DE CONTROL Y PROTECCIÓN
(ACP)

PROYECTADO :	ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO :	ANTONI MARQUÉS
REF :	---
FECHA:	05-2019


UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONTECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

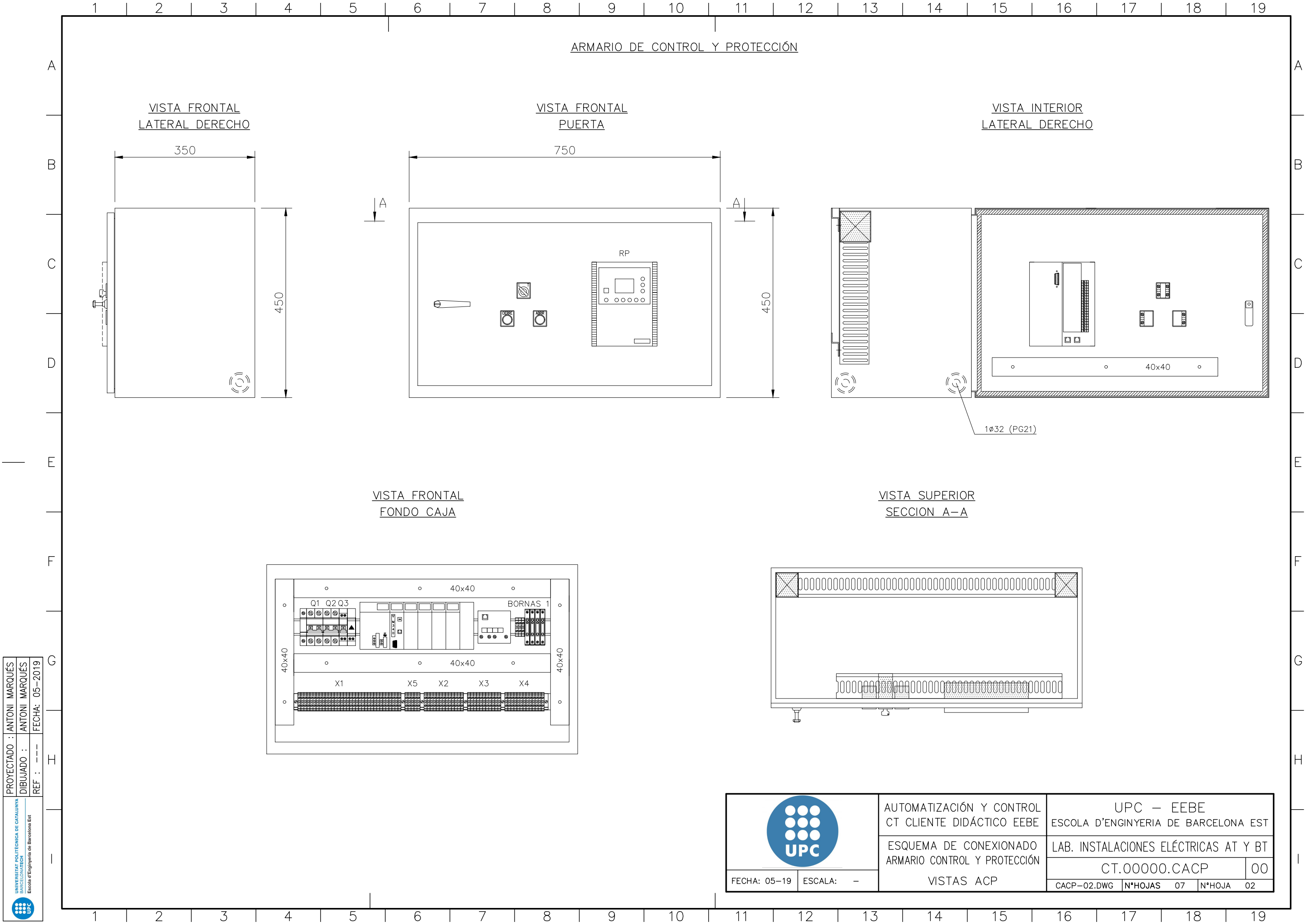


	AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE		UPC – EEBE ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST	
	ESQUEMA DE CONEXIONADO ARMARIO CONTROL Y PROTECCIÓN		LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT	
	PORTADA		CT.00000.CACP	00
	FECHA: 05-19	ESCALA: –	CACP-00.DWG	NºHOJAS 07 NºHOJA 00


PROYECTADO :	ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO :	ANTONI MARQUÉS
REF :	FECHA: 05-2019

[illegible]

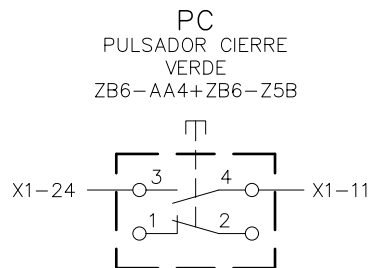
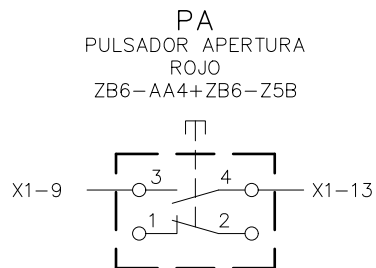
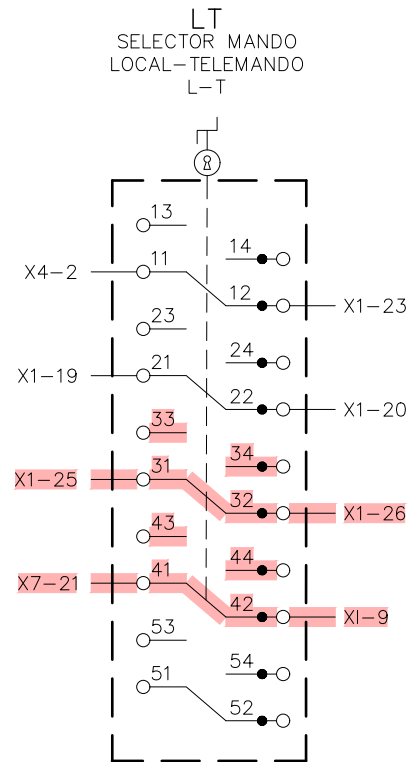
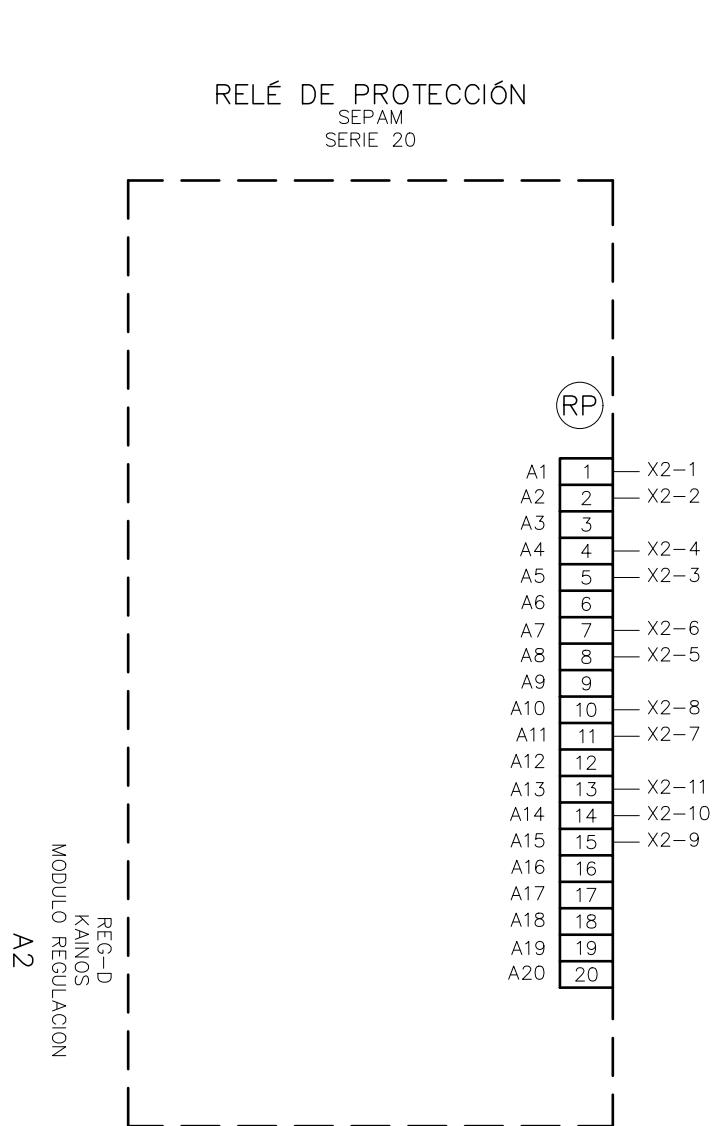
		AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL		UPC — EEBE		
		CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE		ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST		
		ESQUEMA DE CONEXIONADO ARMARIO CONTROL Y PROTECCIÓN		LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT		
CT.00000.CACP				00		
FECHA: 05-19	ESCALA: —	ÍNDICE		CACP-01.DWG	NºHOJAS 07	NºHOJA 01



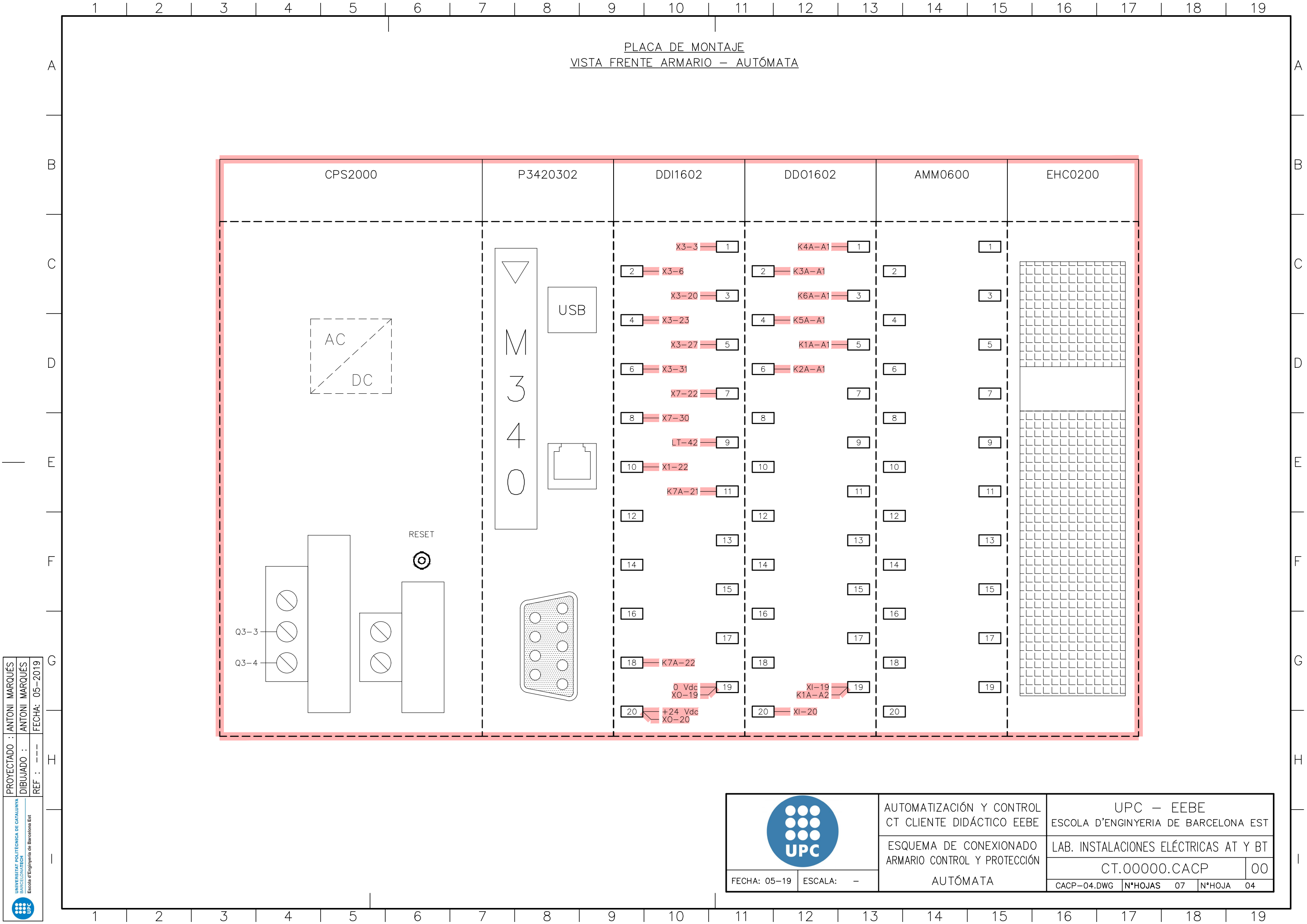
PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS
REF : ---
FECHA: 05-2019

		AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL		UPC — EEBE			
		CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE		ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST			
		ESQUEMA DE CONEXIONADO		LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT			
				CT.00000.CACP			00
FECHA: 05-19	ESCALA: —	VISTAS ACP		CACP-02.DWG		NºHOJAS 07	NºHOJA 02

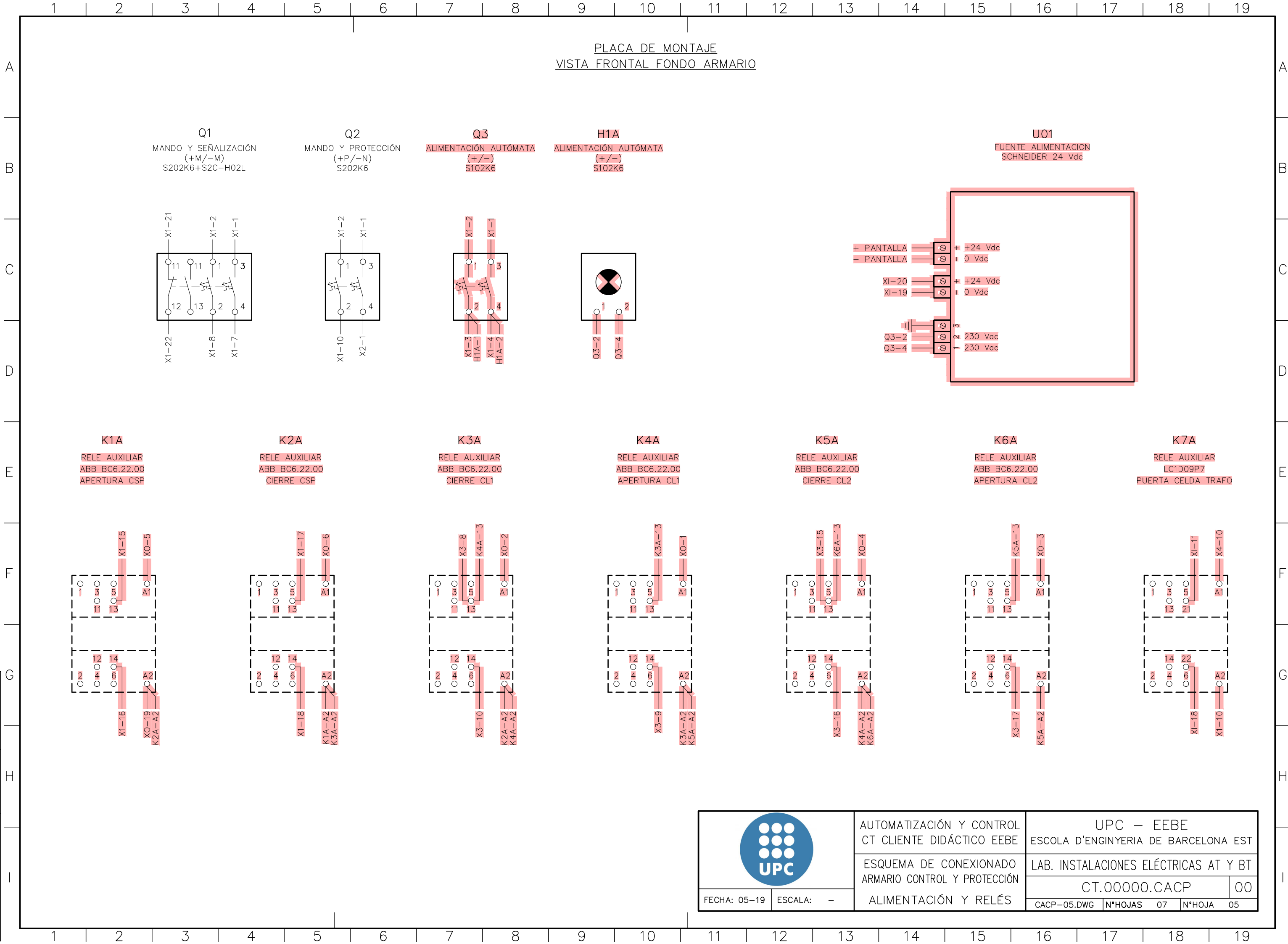
PLACA DE MONTAJE
VISTA TRASERA PUERTA ARMARIO



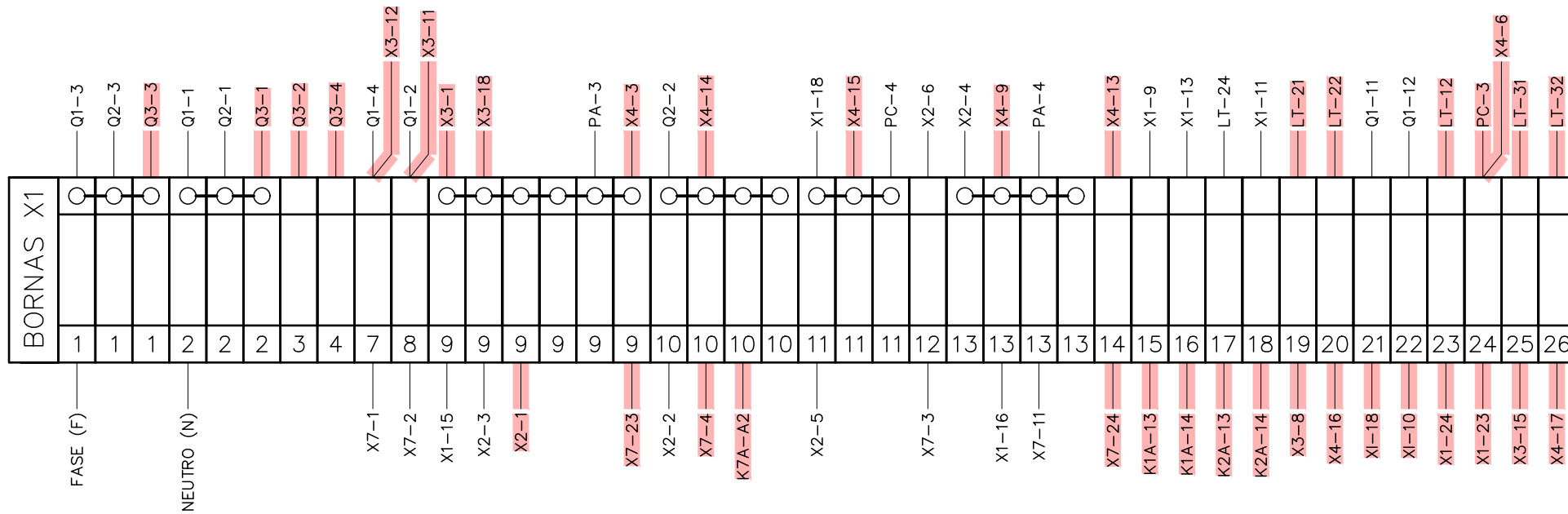
PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS
REF : ---
FECHA: 05-2019

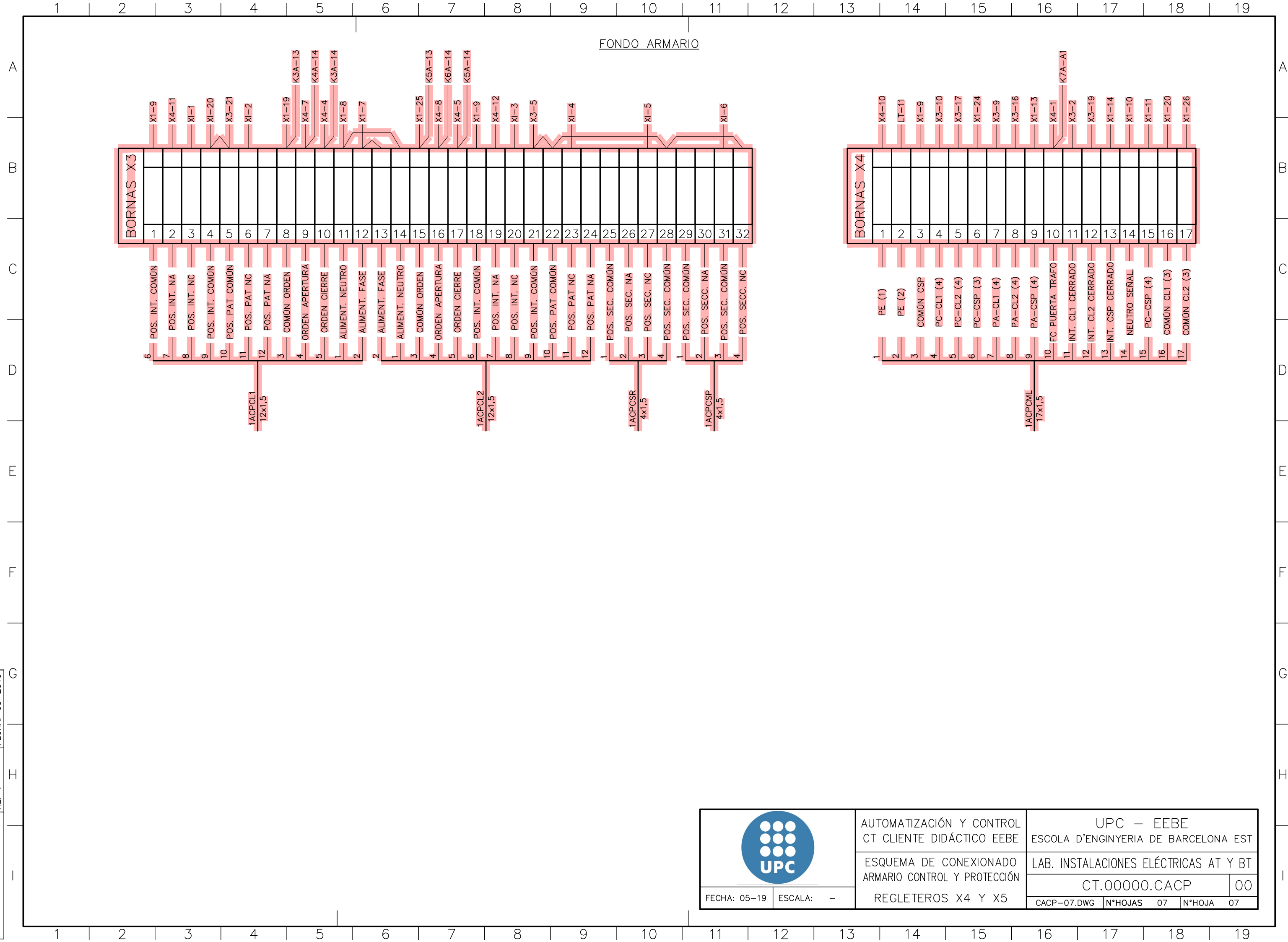


PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS
REF : ---
FECHA: 05-2019



PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS
REF : ---
FECHA: 05-2019






CENTRO DE TRANSFORMACIÓN DIDÁCTICO
ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST
EEBE — UPC

ESQUEMA DE CONEXIONADO
CUADRO DE MANDO LOCAL
(CML)

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONTECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS
REF : ---
FECHA: 05-2019



FECHA: 05-19

ESCALA: -

AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL
CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE

ESQUEMA DE CONEXIONADO
CUADRO DE MANDO LOCAL

PORTADA

UPC — EEBE
ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST


LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT

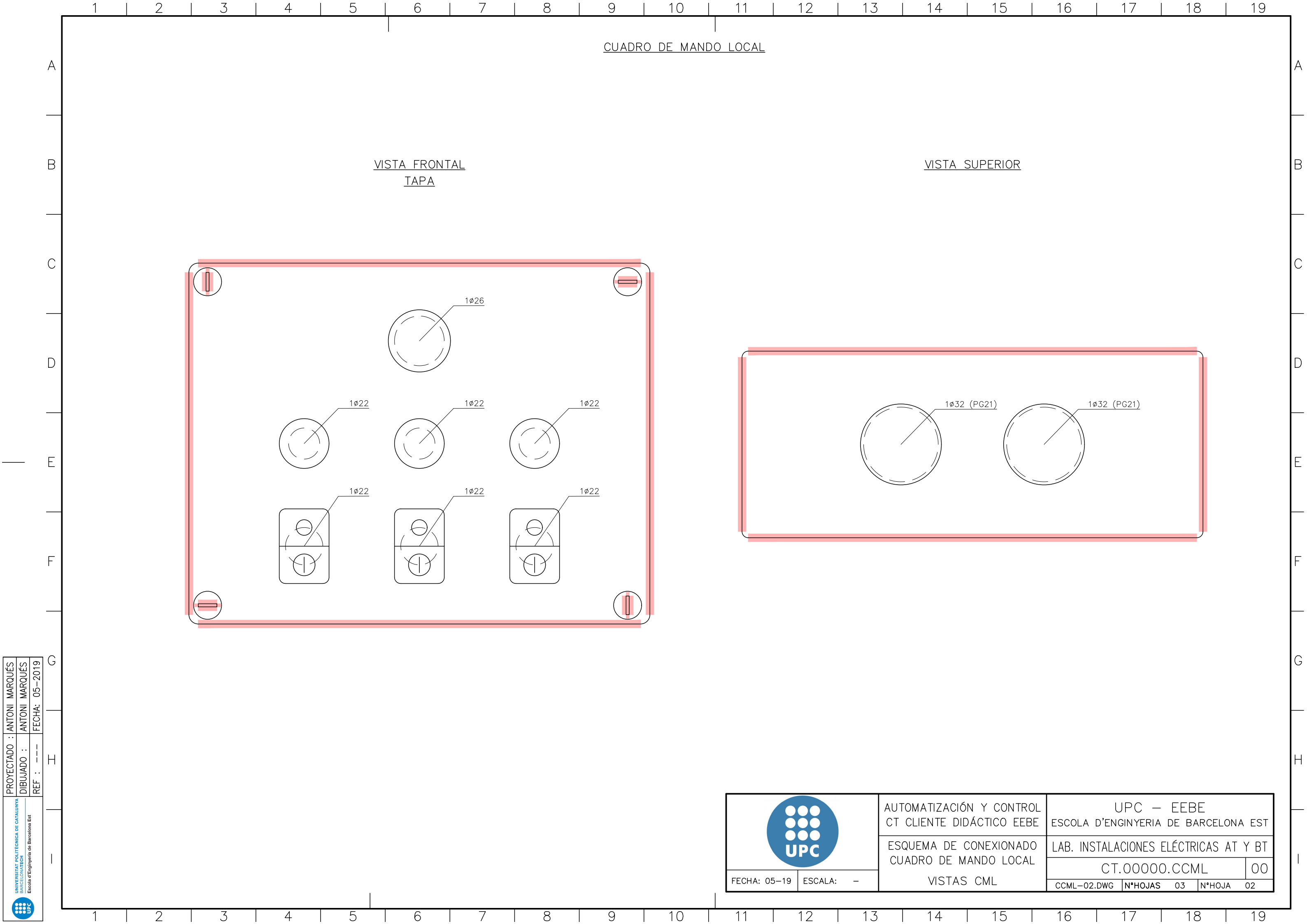
CT.00000.CCML00

CCML-00.DWG N°HOJAS 03 N°HOJA 00

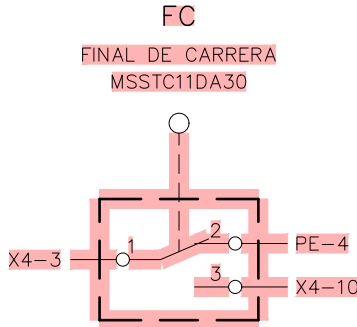
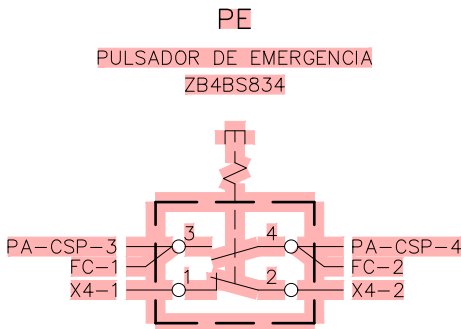
PROYECTADO :	ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO :	ANTONI MARQUÉS
REF :	FECHA: 05-2019

[illegible]

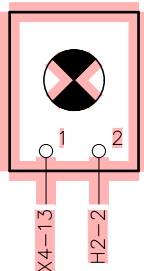
		AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL		UPC — EEBE		
		CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE		ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST		
		ESQUEMA DE CONEXIONADO CUADRO DE MANDO LOCAL		LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT		
CT.00000.CCML				00		
FECHA: 05-19	ESCALA: —	ÍNDICE		CCML-01.DWG	NºHOJAS 03	NºHOJA 01



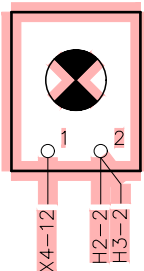
CUADRO DE MANDO LOCAL
VISTA FRONTAL TRASERA DE LA PLACA DE MONTAJE



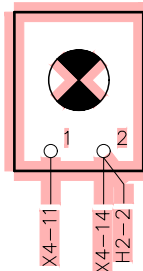
H3
INDICADOR CSP CERRADO
(+/-)
XB5AVM3



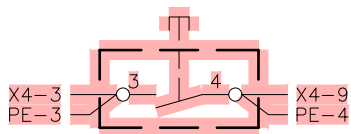
H2
INDICADOR CL2 CERRADO
(+/-)
XB5AVM3



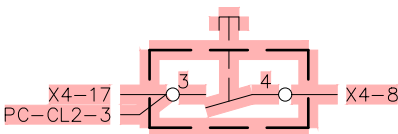
H1
INDICADOR CL1 CERRADO
(+/-)
XB5AVM3



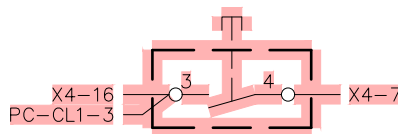
PA-CSP
PULSADOR APERTURA CSP
XB5AL73415



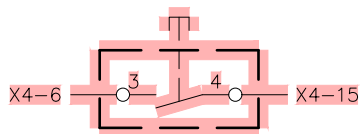
PA-CL2
PULSADOR APERTURA CL2
XB5AL73415



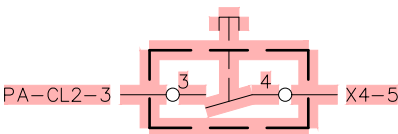
PA-CL1
PULSADOR APERTURA CL1
XB5AL73415



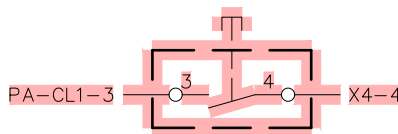
PC-CSP
PULSADOR CIERRE CSP
XB5AL73415



PC-CL2
PULSADOR CIERRE CL2
XB5AL73415



PC-CL1
PULSADOR CIERRE CL1
XB5AL73415



FECHA: 05-19

ESCALA: -

AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL
CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE

ESQUEMA DE CONEXIONADO
CUADRO DE MANDO LOCAL

PLACA DE MONTAJE

UPC - EEBE
ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST

LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT

CT.00000.CCML

00

CCML-03.DWG N*HOJAS 03 N*HOJA 03


PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS
REF : ---
FECHA: 05-2019

CENTRO DE TRANSFORMACIÓN DIDÁCTICO
ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST
EEBE — UPC

ESQUEMA DE CONEXIONADO
CELDAS DE MEDIA TENSIÓN

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONTECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS
REF : ---
FECHA: 05-2019



FECHA: 05-19

ESCALA: -

PORTADA

AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL
CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE

ESQUEMA DE CONEXIONADO
CELDAS DE MEDIA TENSIÓN

UPC — EEBE
ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST


LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT

CT.00000.CCMT00

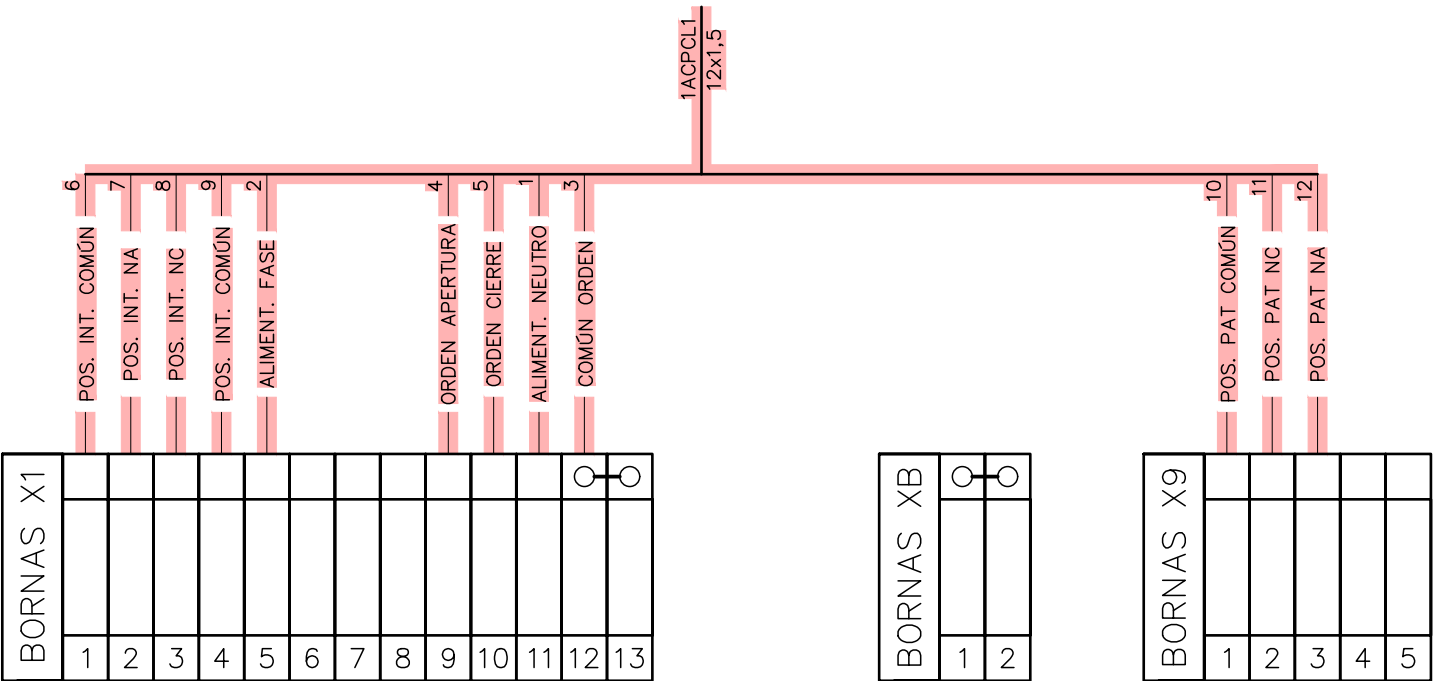
CCMT-00.DWG N°HOJAS 06 N°HOJA 00

PROYECTADO :	ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO :	ANTONI MARQUÉS
REF :	FECHA: 05-2019

[illegible]

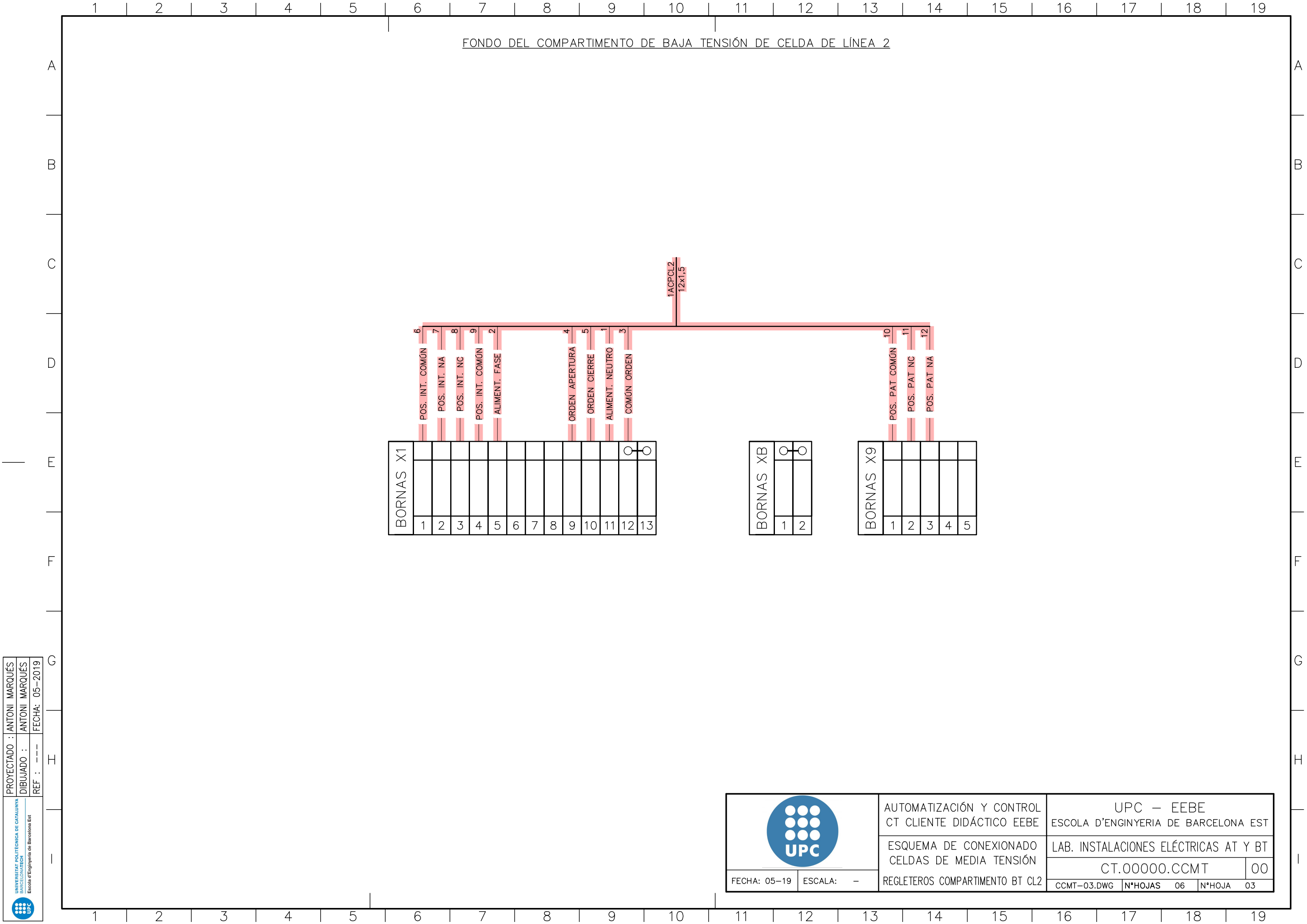
	AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE		UPC — EEBE ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST		
	ESQUEMA DE CONEXIONADO CELDAS DE MEDIA TENSIÓN	LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT			
		CT.00000.CCMT			00
FECHA: 05-19	ESCALA: —	ÍNDICE	CCMT-01.DWG	NºHOJAS 06	NºHOJA 01

FONDO DEL COMPARTIMENTO DE BAJA TENSION DE CELDA DE LINEA 1

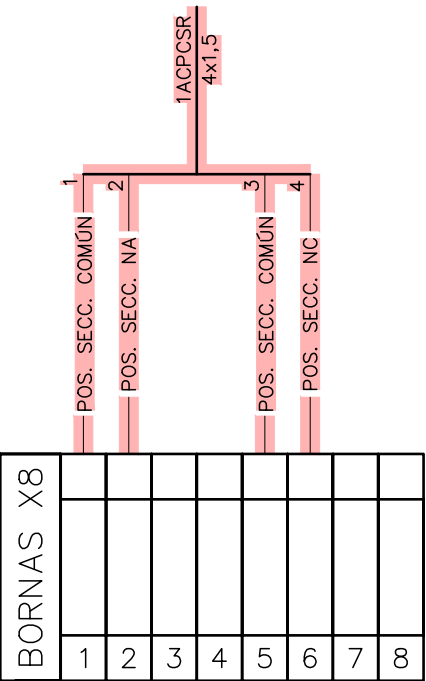


	AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL		UPC — EEBE			
	CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE		ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST			
	ESQUEMA DE CONEXIONADO		LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT			
	CELDA DE MEDIA TENSION		CT.00000.CCMT			
FECHA: 05-19	ESCALA: -	REGLETEROS COMPARTIMENTO BT CL1		CCMT-02.DWG	N*HOJAS 06	N*HOJA 02

	PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS	FECHA: 05-2019
	DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS	
	REF : ---	



FONDO DEL COMPARTIMENTO DE BAJA TENSIÓN DE CELDA DE SECCIONAMIENTO Y REMONTE



BORNAS X8

1	2	3	4	5	6	7	8



FECHA: 05-19

ESCALA: -

AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL
CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE

ESQUEMA DE CONEXIONADO
CELDA DE MEDIA TENSIÓN

REGLETEROS COMPARTIMENTO BT CSR

UPC — EEBE
ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST

LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT

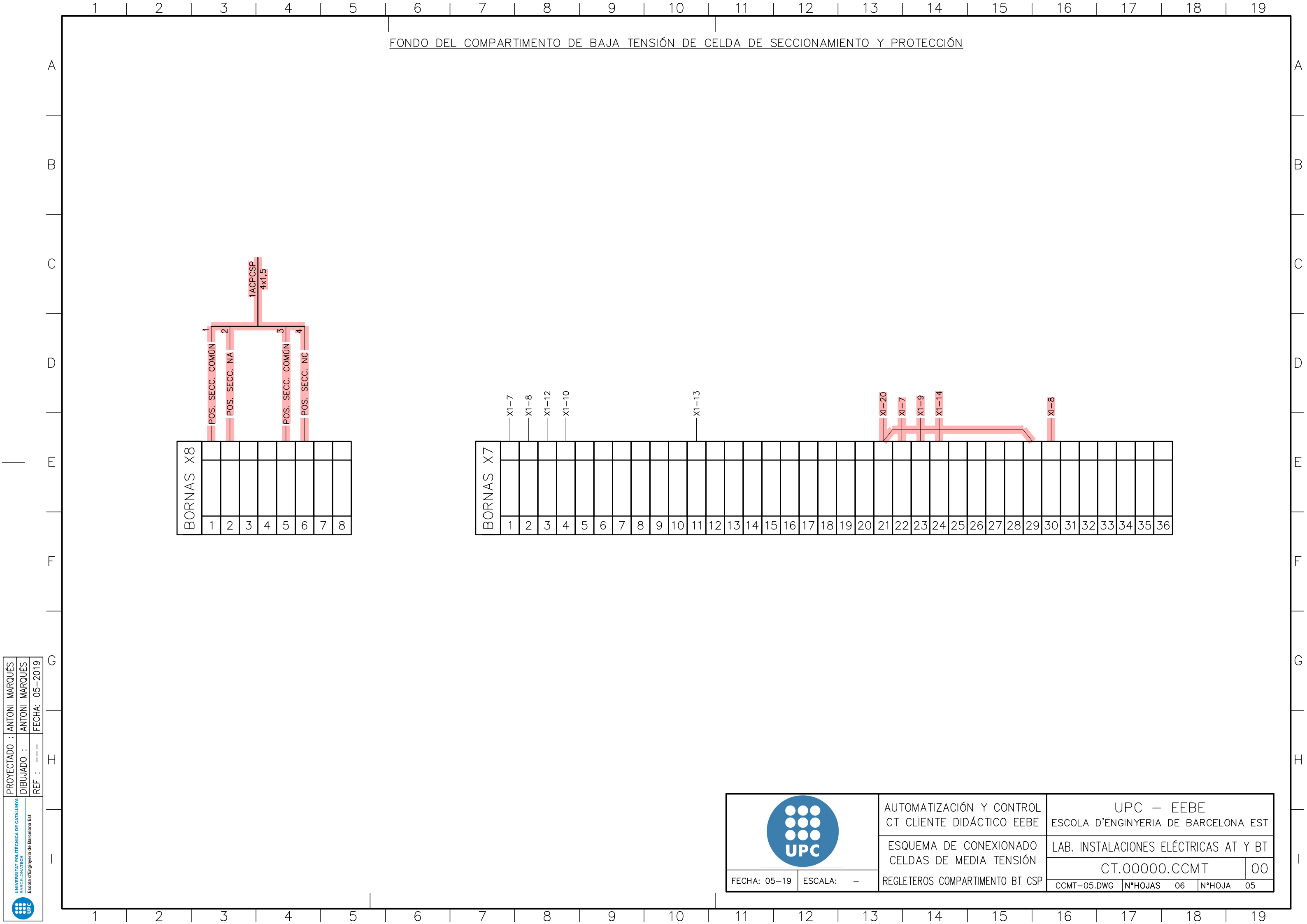
CT.00000.CCMT00

CCMT-04.DWG N°HOJAS 06 N°HOJA 04

PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS
REF : ---
FECHA: 05-2019

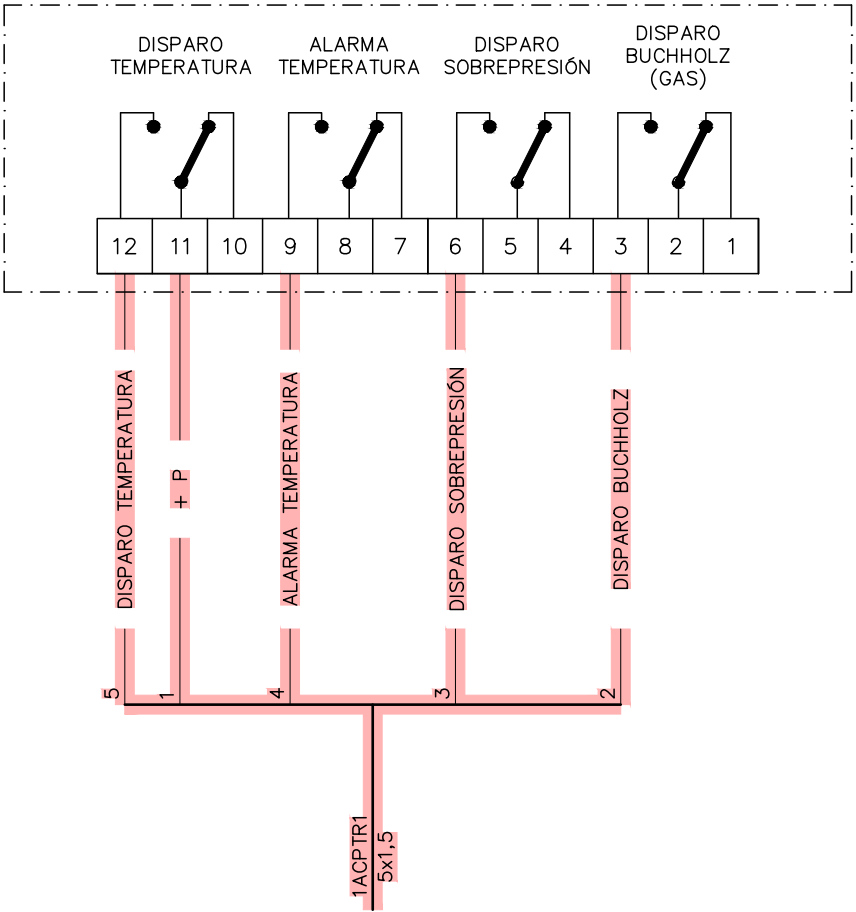
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est






CONEXIONADO DEL RELÉ DE PROTECCIONES PROPIAS DEL TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN

PROTECCIONES PROPIAS DEL TRAF0



	AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL	
	CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE	
	ESQUEMA DE CONEXIONADO	
	CELDA DE MEDIA TENSIÓN	
FECHA: 05-19	ESCALA: -	
	CONEX. PROTCIONES PROPIAS TRAF0	
UPC — EEBE		
ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST		
LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT		
CT.00000.CCMT		00
CCMT-06.DWG	N*HOJAS 06	N*HOJA 06

PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS
REF : ---
FECHA: 05-2019

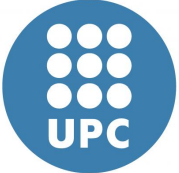
CENTRO DE TRANSFORMACIÓN DIDÁCTICO
ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST
EEBE – UPC

ESQUEMA DE CONEXIONADO
ARMARIO DE CONTROL Y PROTECCIÓN
(ACP)

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONTECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

PROJECTADO : ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS
REF : ---

FECHA: 05-2019



FECHA: 05-19

ESCALA: -

AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL
CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE

ESQUEMA DE CONEXIONADO
ARMARIO CONTROL Y PROTECCIÓN

PORTADA

UPC – EEBE
ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST


LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT

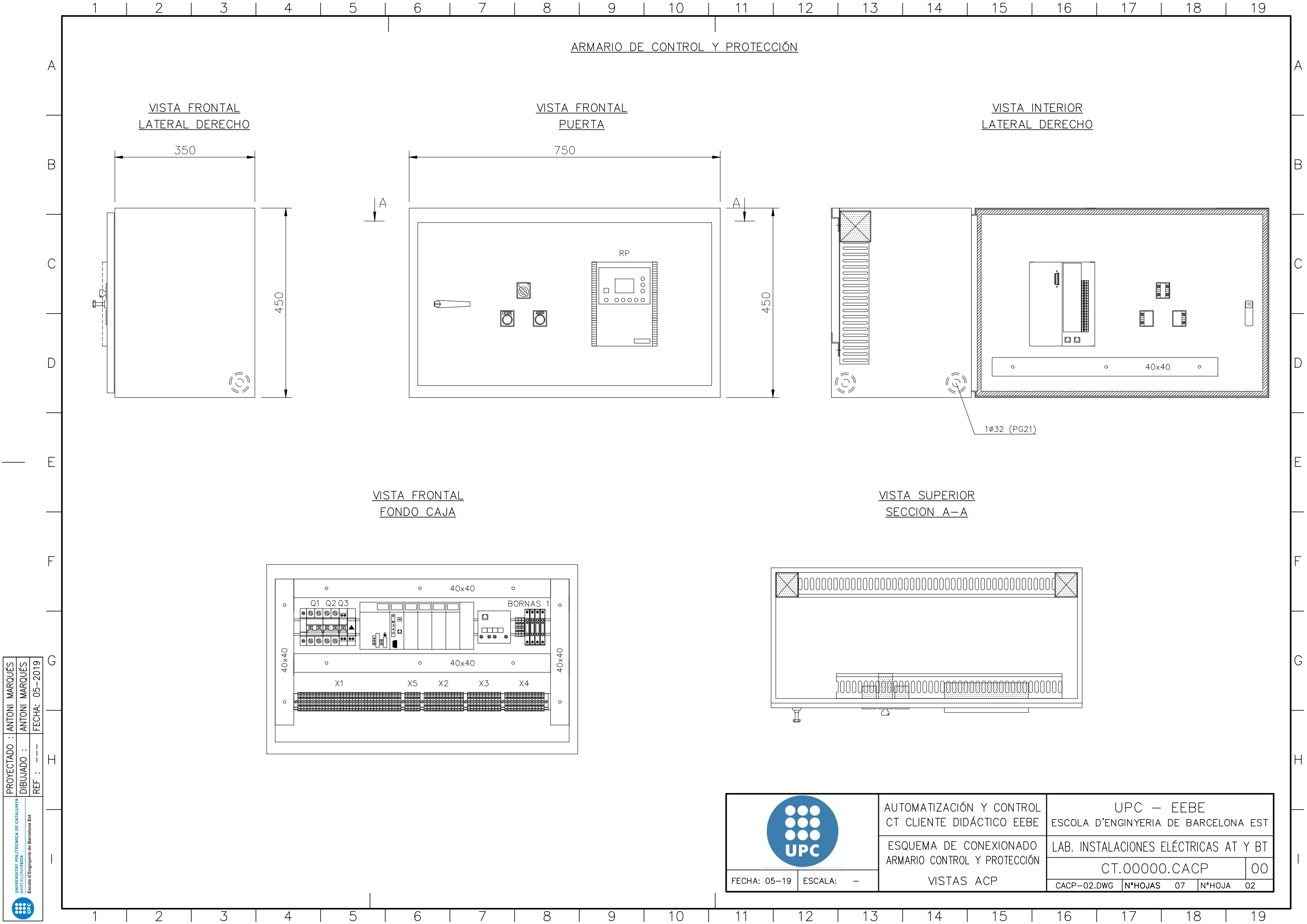
CT.00000.CACP00

CACP-00.DWG N°HOJAS 07 N°HOJA 00

PROYECTADO :	ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO :	ANTONI MARQUÉS
REF :	FECHA: 05-2019

[illegible]

		AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE		UPC — EEBE ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST		
		ESQUEMA DE CONEXIONADO ARMARIO CONTROL Y PROTECCIÓN		LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT		
FECHA: 05-19	ESCALA: —	ÍNDICE		CT.00000.CACP		00
				CACP-01.DWG	NºHOJAS 07	NºHOJA 01



ARMARIO DE CONTROL Y PROTECCIÓN

VISTA FRONTAL
LATERAL DERECHO

VISTA FRONTAL
PUERTA

VISTA INTERIOR
LATERAL DERECHO

VISTA FRONTAL
FONDO CAJA

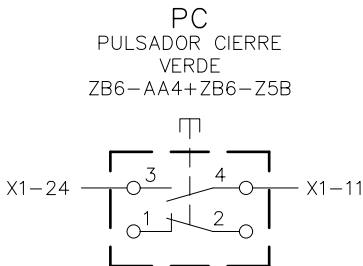
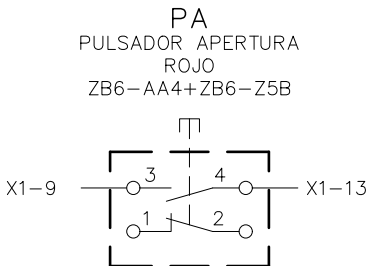
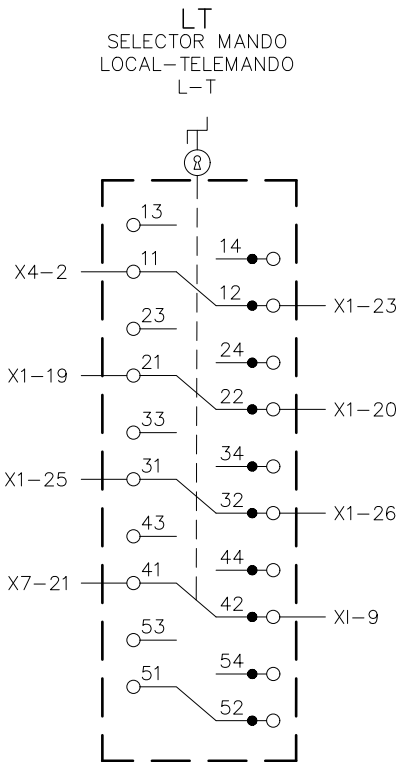
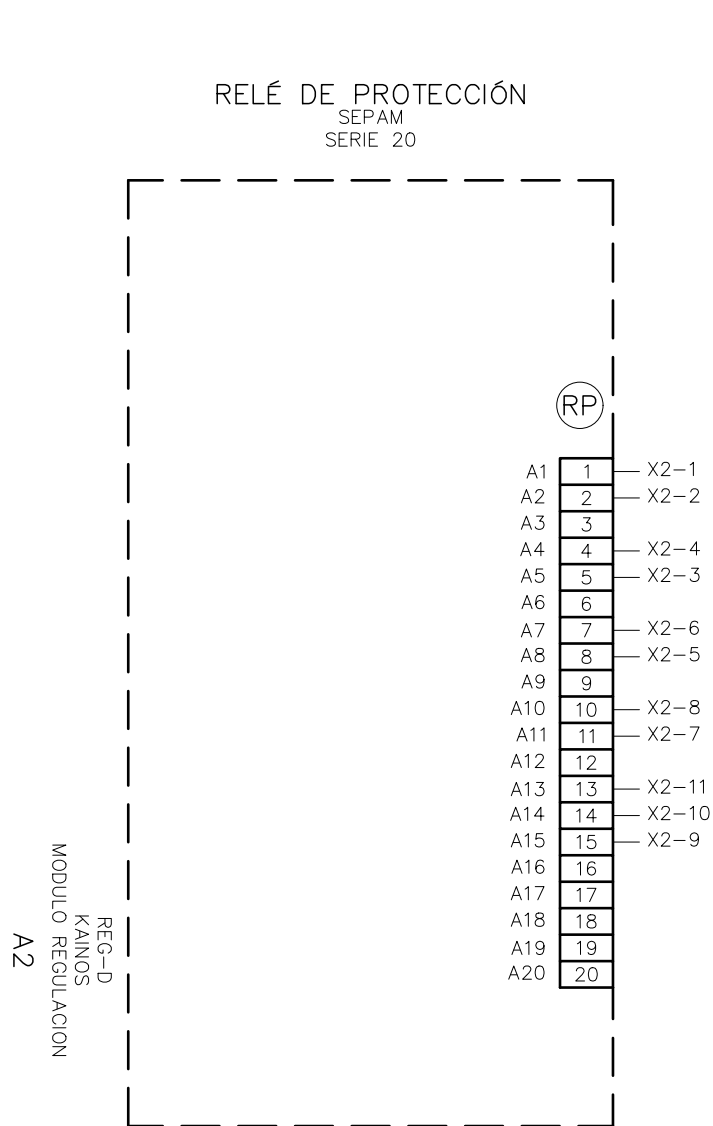
VISTA SUPERIOR
SECCION A-A

PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS
REF : ---
FECHA: 05-2019


UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

	AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE		UPC — EEBE ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST	
	ESQUEMA DE CONEXIONADO ARMARIO CONTROL Y PROTECCIÓN		LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT	
	VISTAS ACP		CT.00000.CACP	00
	FECHA: 05-19	ESCALA: -	CACP-02.DWG	N*HOJAS 07 N*HOJA 02

PLACA DE MONTAJE
VISTA TRASERA PUERTA ARMARIO

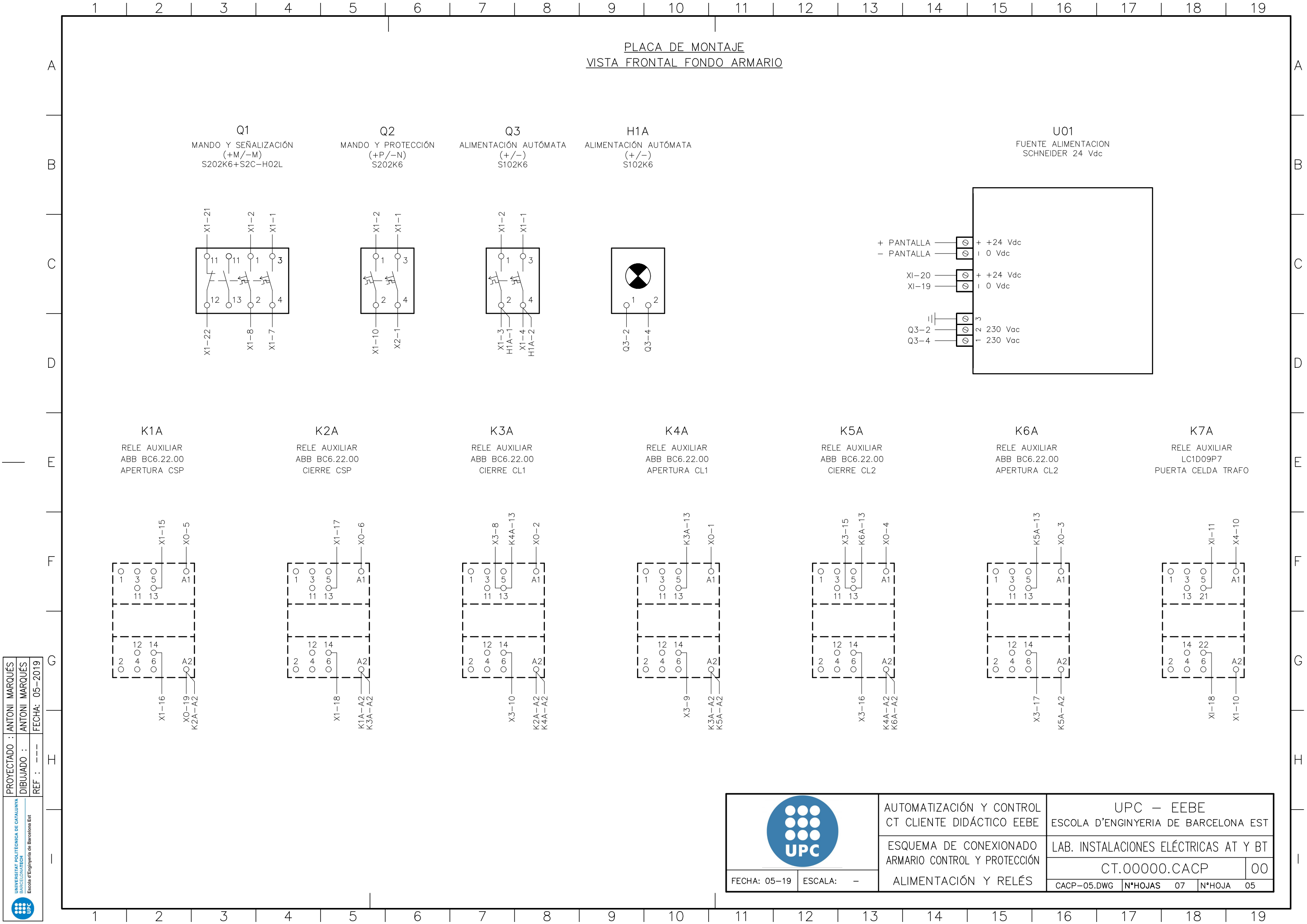


PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS
REF : ---
FECHA: 05-2019

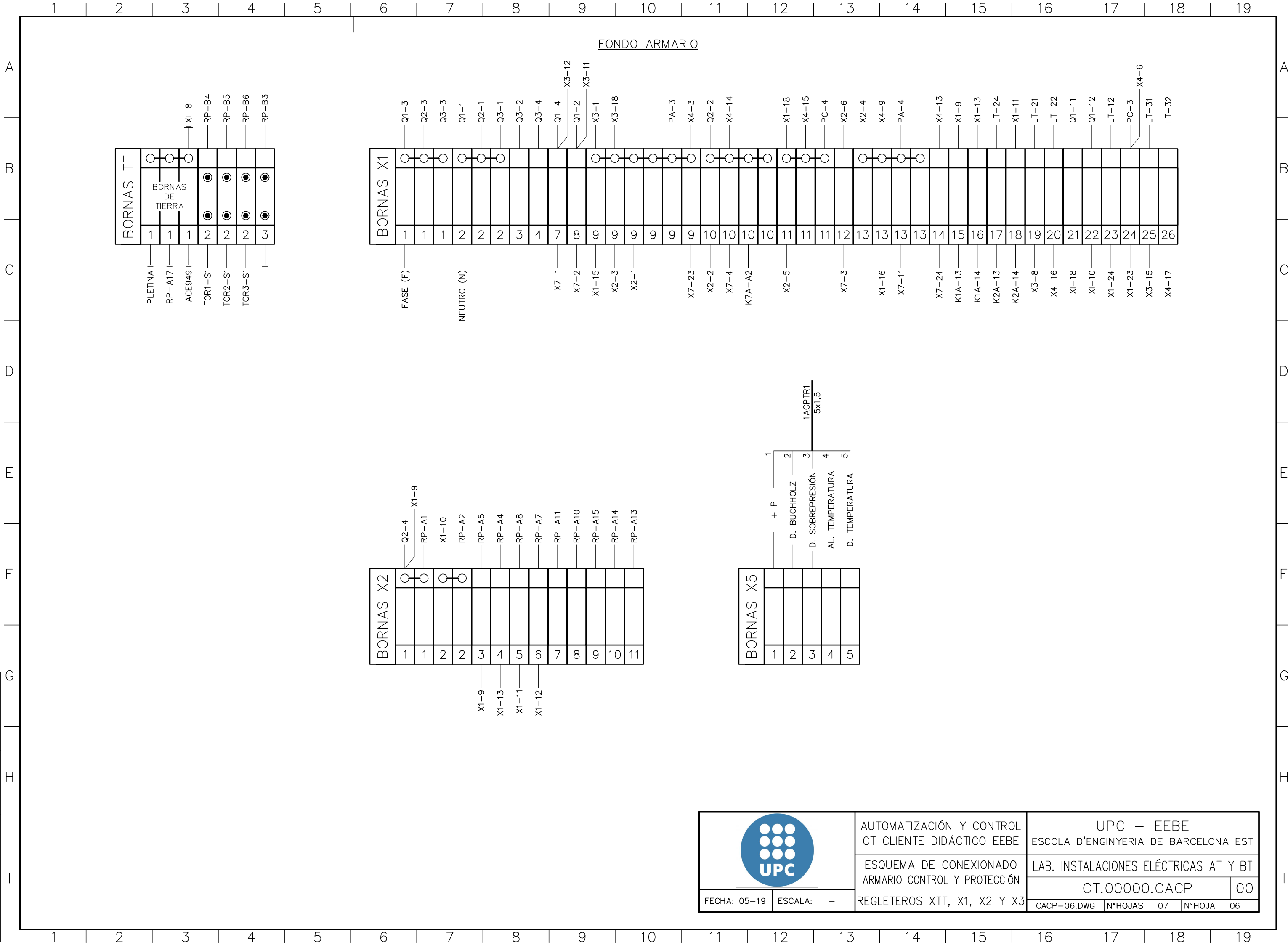
	AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE		UPC — EEBE ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST	
	ESQUEMA DE CONEXIONADO ARMARIO CONTROL Y PROTECCIÓN		LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT	
	RELÉS Y PULSADORES		CT.00000.CACP	00
	FECHA: 05-19	ESCALA: -	CACP-03.DWG	N*HOJAS 07 N*HOJA 03

A





PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS
REF : ---
FECHA: 05-2019

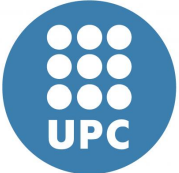


CENTRO DE TRANSFORMACIÓN DIDÁCTICO
ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST
EEBE — UPC

ESQUEMA DE CONEXIONADO
CUADRO DE MANDO LOCAL
(CML)

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONTECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS
REF : ---
FECHA: 05-2019



FECHA: 05-19

ESCALA: -

AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL
CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE

ESQUEMA DE CONEXIONADO
CUADRO DE MANDO LOCAL

PORTADA

UPC — EEBE
ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST


LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT

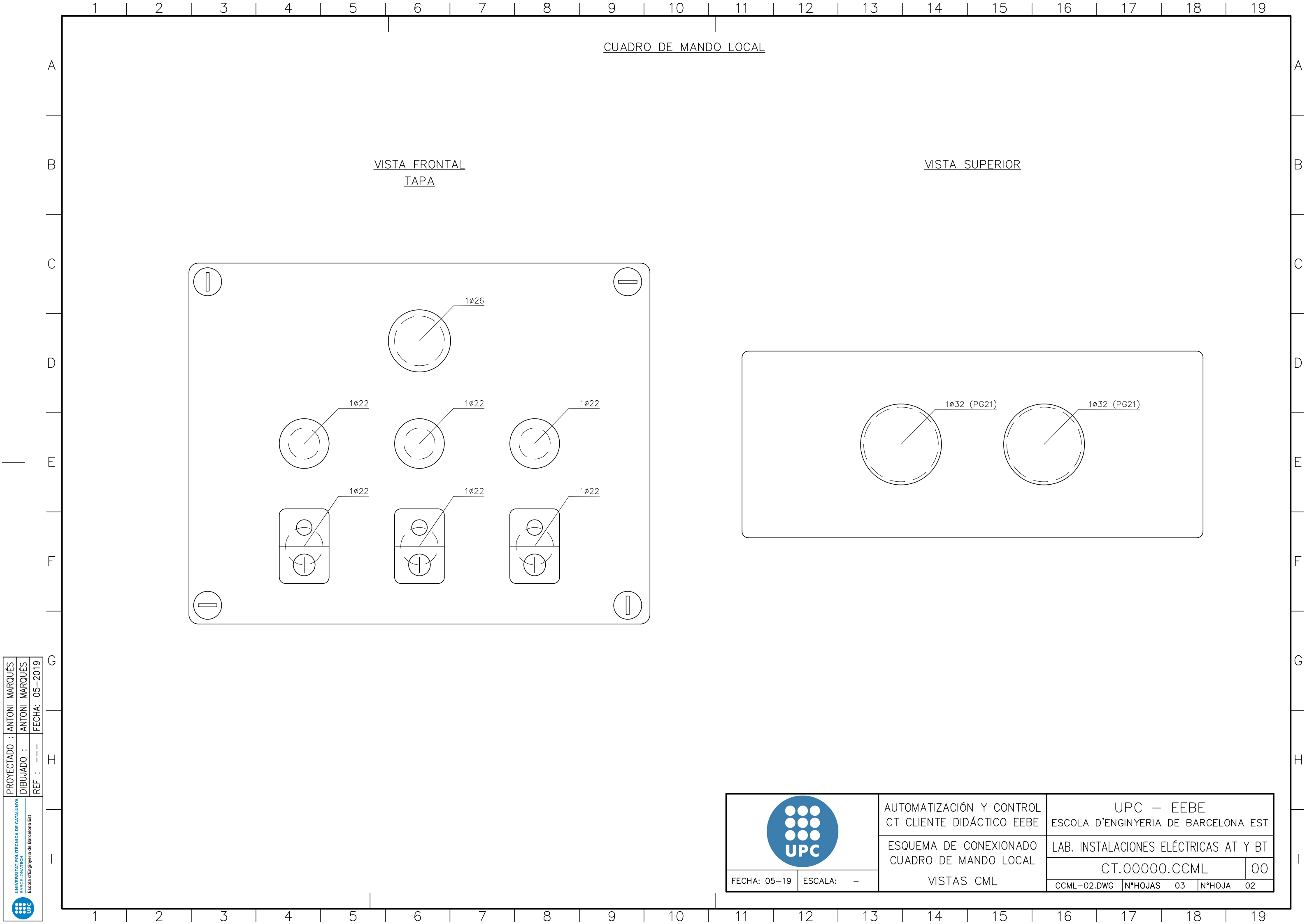
CT.00000.CCML00

CCML-00.DWG N°HOJAS 03 N°HOJA 00


PROYECTADO :	ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO :	ANTONI MARQUÉS
REF :	FECHA: 05-2019

[illegible]

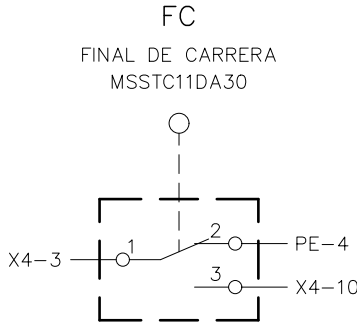
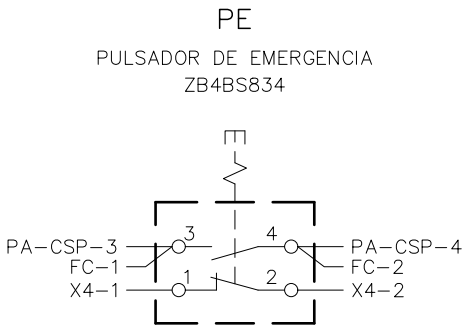
		AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL		UPC — EEBE	
		CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE		ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST	
		ESQUEMA DE CONEXIONADO		LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT	
FECHA: 05-19		ESCALA: —		CT.00000.CCML	
		ÍNDICE		00	
				CCML-01.DWG	NºHOJAS 03
				NºHOJA 01	



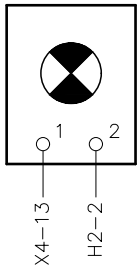
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONTECH Escola d'Enginyeria de Barcelona Est	PROYECTADO :	ANTONI MARQUÉS
	DIBUJADO :	ANTONI MARQUÉS
	REF :	---
FECHA: 05-2019		

	AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL		UPC — EEBE	
	CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE		ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST	
	ESQUEMA DE CONEXIONADO		LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT	
	CUADRO DE MANDO LOCAL		CT.00000.CCML	
FECHA: 05-19		ESCALA: -		00
VISTAS CML		CCML-02.DWG		N*HOJAS 03
				N*HOJA 02

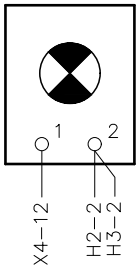
CUADRO DE MANDO LOCAL
VISTA FRONTAL TRASERA DE LA PLACA DE MONTAJE



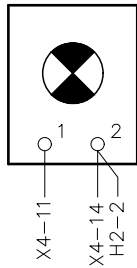
H3
INDICADOR CSP CERRADO
(+/-)
XB5AVM3



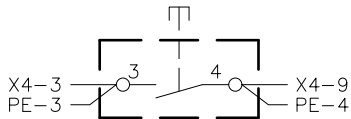
H2
INDICADOR CL2 CERRADO
(+/-)
XB5AVM3



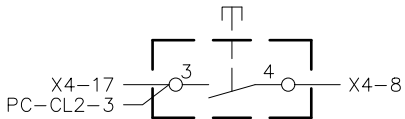
H1
INDICADOR CL1 CERRADO
(+/-)
XB5AVM3



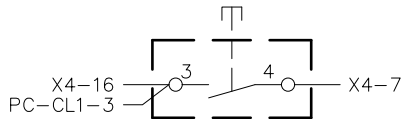
PA-CSP
PULSADOR APERTURA CSP
XB5AL73415



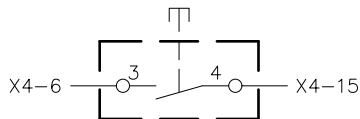
PA-CL2
PULSADOR APERTURA CL2
XB5AL73415



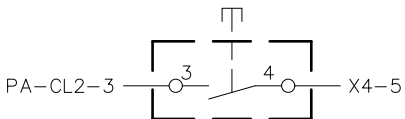
PA-CL1
PULSADOR APERTURA CL1
XB5AL73415



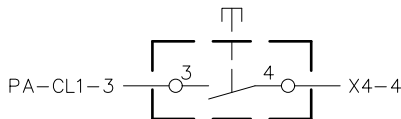
PC-CSP
PULSADOR CIERRE CSP
XB5AL73415



PC-CL2
PULSADOR CIERRE CL2
XB5AL73415



PC-CL1
PULSADOR CIERRE CL1
XB5AL73415



AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL
CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE

ESQUEMA DE CONEXIONADO
CUADRO DE MANDO LOCAL

PLACA DE MONTAJE

FECHA: 05-19

ESCALA: -

UPC - EEBE
ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST

LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT

CT.00000.CCML

00

CCML-03.DWG N*HOJAS 03 N*HOJA 03

PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS
REF : ---
FECHA: 05-2019

CENTRO DE TRANSFORMACIÓN DIDÁCTICO
ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST
EEBE – UPC

ESQUEMA DE CONEXIONADO
CELDAS DE MEDIA TENSIÓN


UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONTECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS

DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS


REF : ---

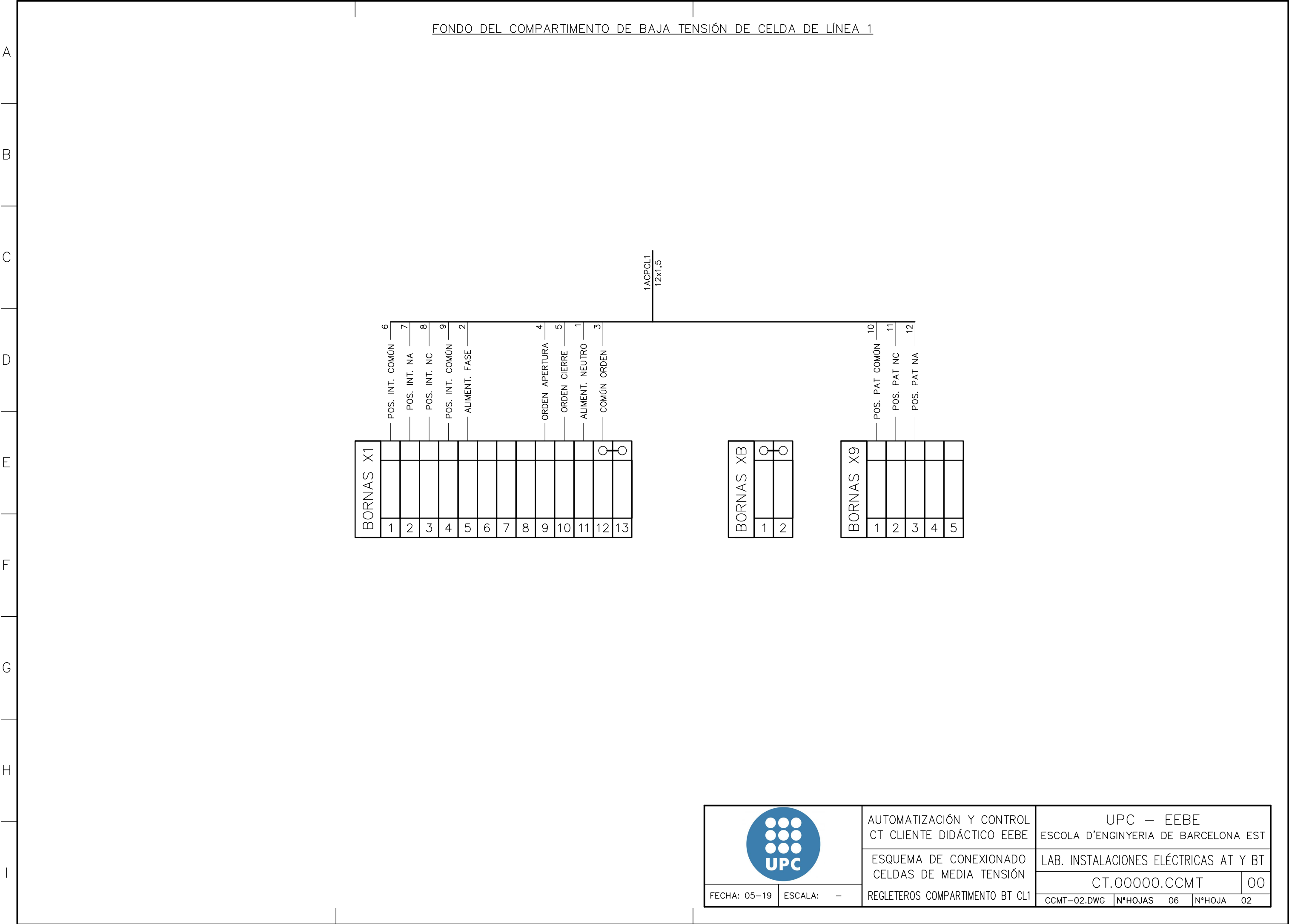
FECHA: 05-2019

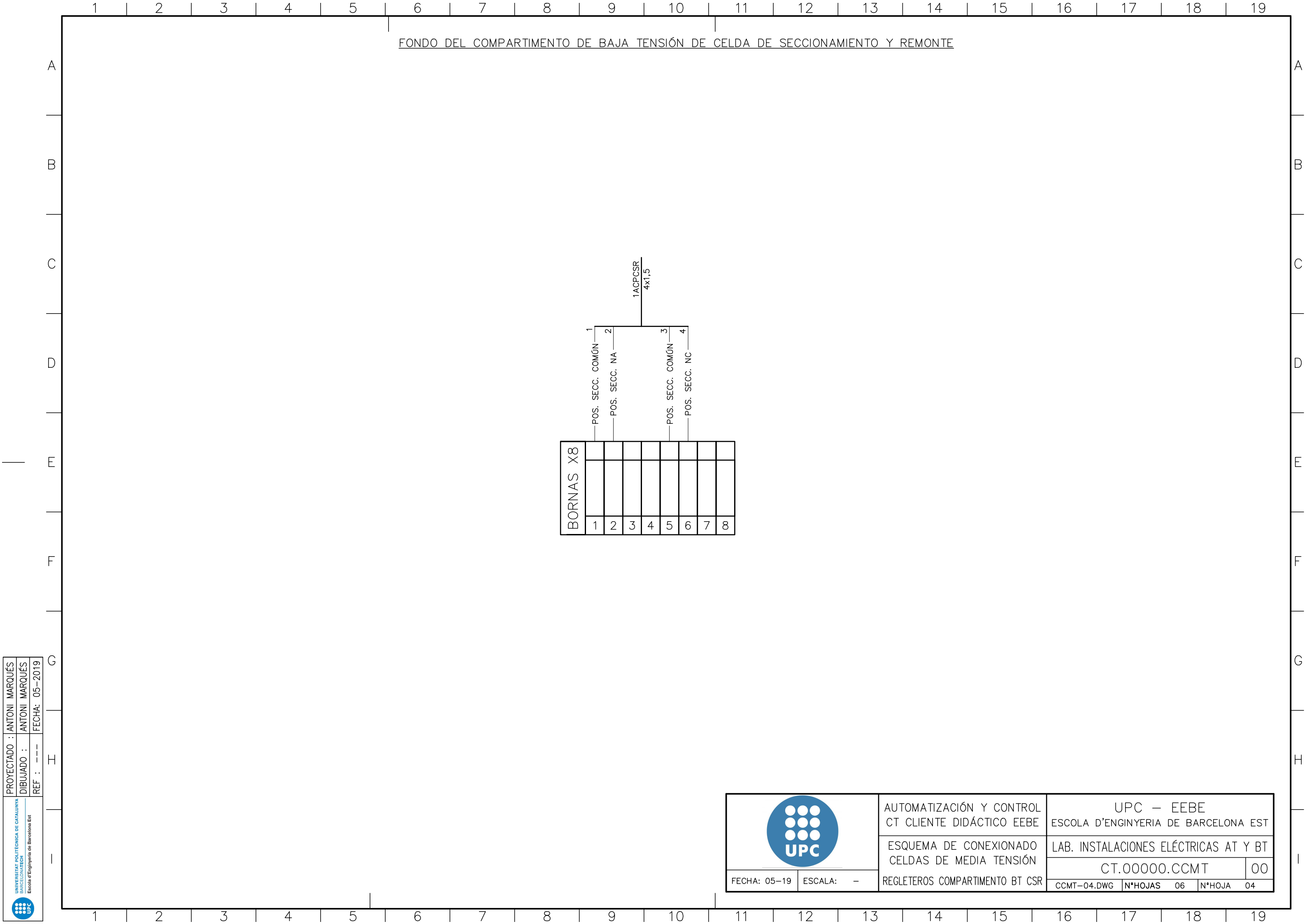
	AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE	UPC – EEBE ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST	
	ESQUEMA DE CONEXIONADO CELDAS DE MEDIA TENSIÓN PORTADA	LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT	
		CT.00000.CCMT 00	
FECHA: 05-19	ESCALA: -	CCMT-00.DWG	NºHOJAS 06 NºHOJA 00

PROYECTADO :	ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO :	ANTONI MARQUÉS
REF :	FECHA: 05-2019

[illegible]

		AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL		UPC — EEBE	
		CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE		ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST	
FECHA: 05-19 ESCALA: —		ESQUEMA DE CONEXIONADO		LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT	
		CELDA DE MEDIA TENSIÓN ÍNDICE		CT.00000.CCMT 00	
				CCMT-01.DWG	NºHOJAS 06
				NºHOJA 01	





UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONTECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

UPC

PROYECTADO : ANTONI MARQUÉS

DIBUJADO : ANTONI MARQUÉS

REF : ---

FECHA: 05-2019

UPC

FECHA: 05-19

ESCALA: -

AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL
CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE

ESQUEMA DE CONEXIONADO
CELDA DE MEDIA TENSIÓN

REGLETEROS COMPARTIMENTO BT CSR

UPC – EEBE
ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST

LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT

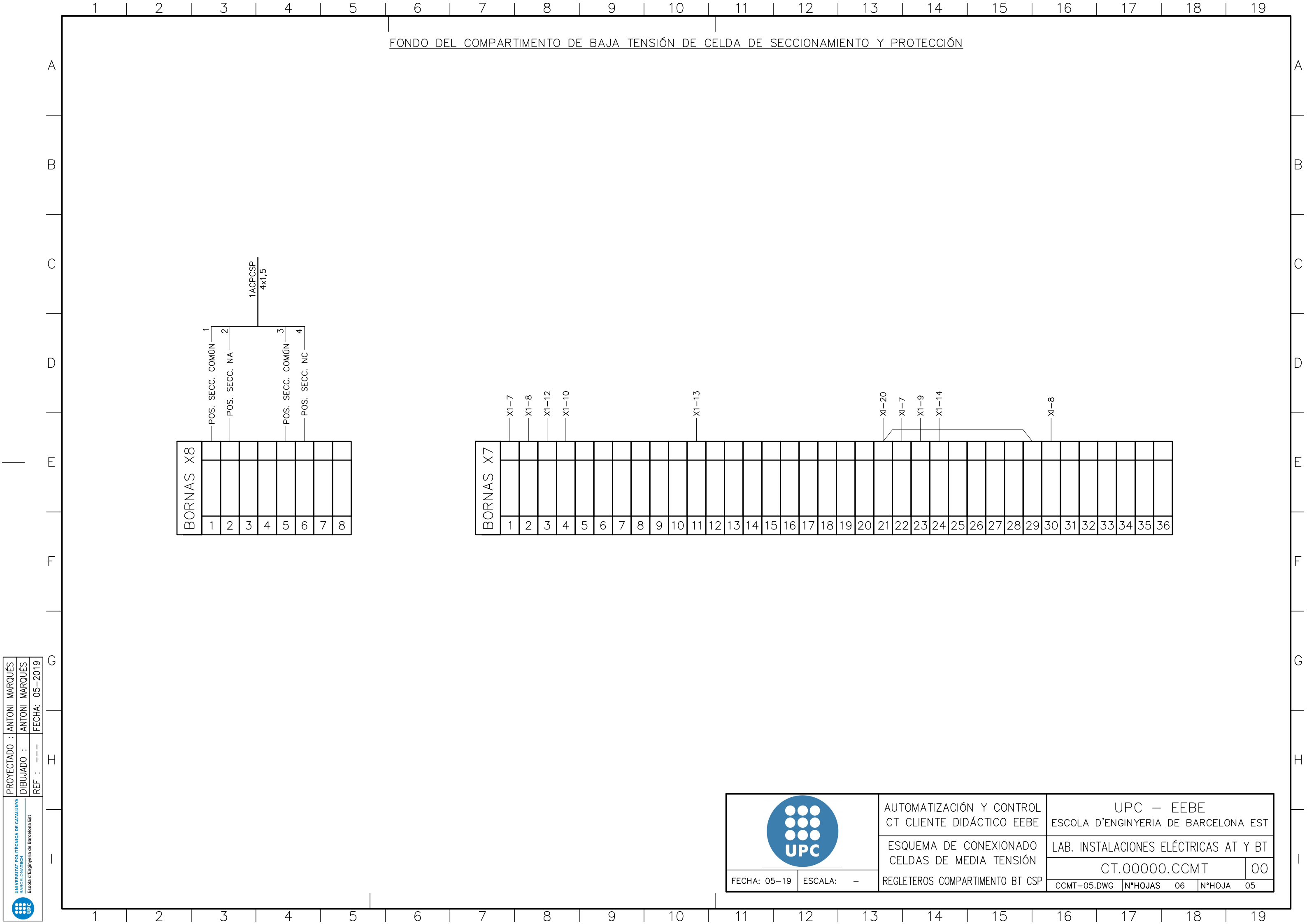
CT.00000.CCMT

00

CCMT-04.DWG

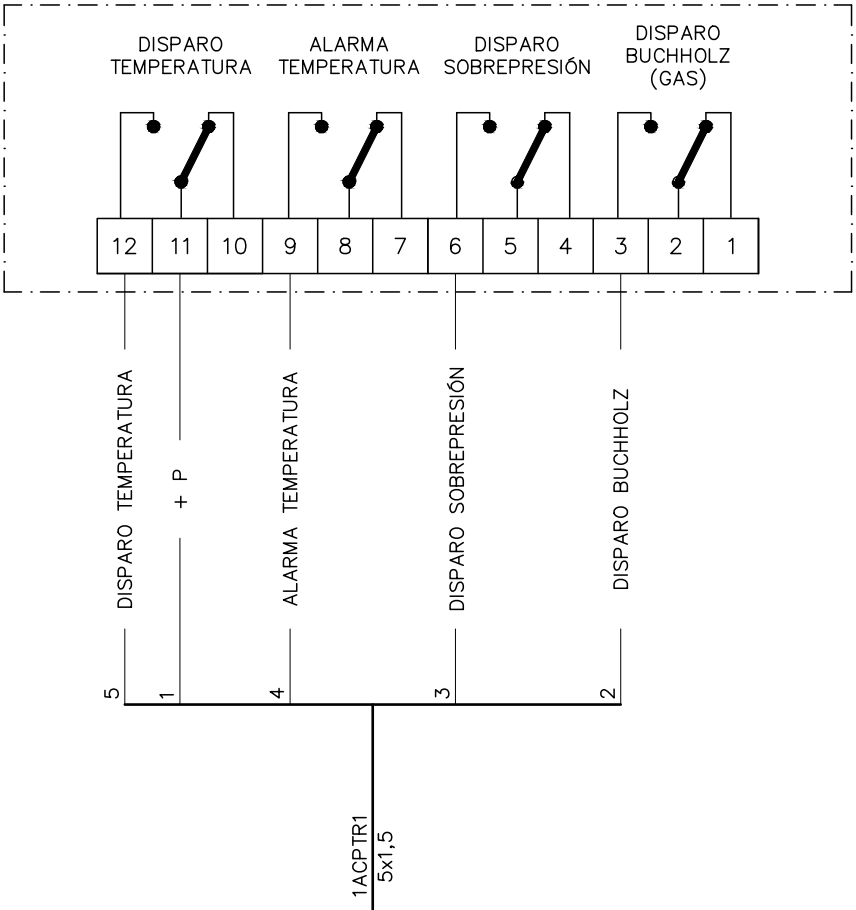
N*HOJAS 06


N*HOJA 04



CONEXIONADO DEL RELÉ DE PROTECCIONES PROPIAS DEL TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN

PROTECCIONES PROPIAS DEL TRAF0



	AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL CT CLIENTE DIDÁCTICO EEBE		UPC — EEBE ESCOLA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST	
	ESQUEMA DE CONEXIONADO CELDA DE MEDIA TENSIÓN		LAB. INSTALACIONES ELÉCTRICAS AT Y BT	
	CONEX. PROTCIONES PROPIAS TRAF0		CT.00000.CCMT	
	FECHA: 05-19 ESCALA: —		CCMT-06.DWG N*HOJAS 06 N*HOJA 06	

PROYECTADO :	ANTONI MARQUÉS
DIBUJADO :	ANTONI MARQUÉS
REF :	---
FECHA:	05-2019

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est



Anexo B: Programa del Autómata

En este anexo se adjunta el informe que genera el software de programación del autómata, el Unity Pro XL.

En dicho informe aparecen representadas las listas de entradas y salidas de las tarjetas de las que dispone el autómata, las listas de variables booleanas que se le han programado, variables complejas...

Del mismo modo, también se incluye en este la información de la tarjeta de comunicación, así como la configuración de la misma.

Como no puede ser de otro modo, incluye las listas de órdenes (programación) de las distintas secciones y subrutinas del programa. En estas se aprecia lo expuesto en el apartado Programa. Tienen comentarios internos para que pueda ser fácilmente entendido por usuario ajenos a su creación.

Por último, aparecen unas listas de referencias cruzadas que genera de forma automática el programa, con las cuales es más fácil orientarse en el conjunto de la programación.

La programación del autómata se expone a continuación.

DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

Automatización CT EEBE

Proyecto	Automatización CT EEBE
Diseñador	
Aplicación	TFG_CT_LAB_INSTA.stu
Versión del software	Unity Pro XL V11.0
Fecha de creación	07/05/2019 16:26:14
Fecha de la última modificación	27/05/2019 19:18:48
PLC de destino	BMX P34 20302 02.70CPU 340-20 Ethernet CANopen2

Contenido

1 Portada	1 página
2 Contenido	1 página
3 Configuración	6 páginas
3.1 0 : Bus PLC	6 páginas
3.1.1 0 : BMX XBP 0600	6 páginas
3.1.1.1 0 : BMX P34 20302	1 página
3.1.1.2 1 : BMX DDI 1602	1 página
3.1.1.3 2 : BMX DDO 1602	1 página
3.1.1.4 3 : BMX AMM 0600	1 página
3.1.1.5 4 : BMX EHC 0200	1 página
3.2 3 : CANopen	? páginas
4 Variables e instancias FB	3 páginas
5 Estructura de la aplicación	1 página
6 Comunicación	2 páginas
6.1 Redes	2 páginas
6.1.1 TFG_CT_LAB	2 páginas
7 Programa	7 páginas
7.1 Tareas	7 páginas
7.1.1 MAST	7 páginas
7.1.1.1 Secciones	1 página
7.1.1.1.1 Principal	1 página
7.1.1.2 Secciones SR	5 páginas
7.1.1.2.1 Pantalla	1 página
7.1.1.2.2 Alarmas	2 páginas
7.1.1.2.3 Estado	1 página
7.1.1.2.4 Contadores	1 página
8 Movimiento	
9 Referencias cruzadas	3 páginas

Total: 24 páginas

0 : BMX XBP 0600

Slot	Familia	Referencia
(P)	Alimentación	BMX CPS 2000
0	Modicon M340	BMX P34 20302
1	Binario	BMX DDI 1602
2	Binario	BMX DDO 1602
3	Analógico	BMX AMM 0600
4	Conteo	BMX EHC 0200

0.0 : BMX P34 20302

Identificación del módulo:

Referencia comercial	: BMX P34 20302	Designación	: CPU 340-20 Ethernet CANopen2
Dirección	: 0.0	Símbolo	:

Modalidad de servicio

Entrada de ejecución/detención	: No
Protección de memoria	: No
Iniciar ejecución automática	: No
Resetear MWi	: Sí
Sólo arranque en frío	: No

Datos

Visión de E/S	: Topológica
Cantidad de bits	: 512
Cantidad de palabras	: 1024
Cantidad de constantes	: 256
Cantidad de bits de sistema	: 128
Cantidad de palabras de sistema	: 168

Canal 2 :

Función específica de la aplicación	: CANopen expert
Tipo de canales de E/S	: Canal integrado
Tipo de submódulo	: CANopen comm head Expert
Tarea	: MAST

Entradas

Número de palabras (%MW)	: 32
Índice del primer %MW	: 0
Número de bits (%M)	: 32
Índice del primer %M	: 0

Salidas

Estrategia de retorno de salidas	: RESET
Número de palabras (%MW)	: 32
Índice del primer %MW	: 32
Número de bits (%M)	: 32
Índice del primer %M	: 32

Velocidad de transmisión	: 250 kBaud
COB-ID de mensaje SYNC	: 128
Periodo de mensaje SYNC	: 100 ms
Tiempo de inhibición de NMT	: 5 ms
Tiempo de espera de arranque de dispositivo	: 50 ms

Canal 3 :

Función específica de la aplicación	: ETH TCP IP
Tipo de canales de E/S	: Canal integrado
Conexión de red	: TFG_CT_LAB
Tarea	: MAST

0.1 : BMX DDI 1602

Identificación del módulo:

Referencia comercial : BMX DDI 1602
Dirección : 0.1

Designación : 16 entradas digitales de 24 VCC común positivo
Símbolo :

Parámetros comunes [0-7]

Monitorización de alimentación : Activo
Tarea : MAST
I/O Vision : Topológica

Parámetros del canal de entrada [0-7]

Canal	Dirección	Símbolo
0	%I0.1.0.0	INT_CL1
1	%I0.1.1.0	SEC_PAT_CL1
2	%I0.1.2.0	INT_CL2
3	%I0.1.3.0	SEC_PAT_CL2
4	%I0.1.4.0	SEC_CSR
5	%I0.1.5.0	SEC_CSP
6	%I0.1.6.0	INT_CSP
7	%I0.1.7.0	MUELLES_CSP

Parámetros comunes [8-15]

Monitorización de alimentación : Activo
Tarea : MAST
I/O Vision : Topológica

Parámetros del canal de entrada [8-15]

Canal	Dirección	Símbolo
8	%I0.1.8.0	SEL_LOCAL_REMOTO
9	%I0.1.9.0	DISP_MAGNETO_Q1
10	%I0.1.10.0	PUERTA_ABIERTA
11	%I0.1.11.0	
12	%I0.1.12.0	
13	%I0.1.13.0	
14	%I0.1.14.0	
15	%I0.1.15.0	DISP_SEPAM

0.2 : BMX DDO 1602

Identificación del módulo:

Referencia comercial	: BMX DDO 1602	Designación	: 16 salidas digitales transistor común negativo
Dirección	: 0.2	Símbolo	:

Parámetros comunes [0-7]

Tarea	: MAST
Monitorización de alimentación	: Activo
Reactivar	: Programado
Modalidad de retorno	: Retorno
I/O Vision	: Topológica

Parámetros del canal de salida [0-7]

Canal	Dirección	Símbolo	Valor de ret.
0	%Q0.2.0.0	APERTURA_CL1	0
1	%Q0.2.1.0	CIERRE_CL1	0
2	%Q0.2.2.0	CIERRE_CL2	0
3	%Q0.2.3.0	APERTURA_CL2	0
4	%Q0.2.4.0	APERTURA_CSP	0
5	%Q0.2.5.0	CIERRE_CSP	0
6	%Q0.2.6.0		0
7	%Q0.2.7.0		0

Parámetros comunes [8-15]

Tarea	: MAST
Monitorización de alimentación	: Activo
Reactivar	: Programado
Modalidad de retorno	: Retorno
I/O Vision	: Topológica

Parámetros del canal de salida [8-15]

Canal	Dirección	Símbolo	Valor de ret.
8	%Q0.2.8.0		0
9	%Q0.2.9.0		0
10	%Q0.2.10.0		0
11	%Q0.2.11.0		0
12	%Q0.2.12.0		0
13	%Q0.2.13.0		0
14	%Q0.2.14.0		0
15	%Q0.2.15.0		0

0.3 : BMX AMM 0600

Identificación del módulo:

Referencia comercial : BMX AMM 0600 Designación : 4 entradas analógicas U/I, 2 salidas U/I
Dirección : 0.3 Símbolo :

Parámetros comunes [0-3]

Ciclo : Normal
I/O Vision : Topológica

Parámetros del canal de entrada [0-3]

Canal	Dirección	Símbolo	Rango	Escala
0	%IW0.3.0.0		+/- 10 V	%..
1	%IW0.3.1.0		+/- 10 V	%..
2	%IW0.3.2.0		+/- 10 V	%..
3	%IW0.3.3.0		+/- 10 V	%..

Activo	Desborde	Máx.	Activoo	Tarea	Utilizado	Transgresión por debajo de rango
0	-10000	10000	0	MAST	Sí	-11000 Sí 11000 Sí
1	-10000	10000	0	MAST	Sí	-11000 Sí 11000 Sí
2	-10000	10000	0	MAST	Sí	-11000 Sí 11000 Sí
3	-10000	10000	0	MAST	Sí	-11000 Sí 11000 Sí

Parámetros comunes [4-5]

TYPE : Salidas
I/O Vision : Topológica

Parámetros del canal de salida [4-5]

Canal	Dirección	Símbolo	Rango	Mín.	Máx.
4	%QW0.3.4.0		+/- 10 V	-10000	10000
5	%QW0.3.5.0		+/- 10 V	-10000	10000

Tarea	Retornar/mantener:	bCTRL cableado	ivo	Desborde	Activo
4	-11000	Sí	11000	Sí	MAST 0
5	-11000	Sí	11000	Sí	MAST 0

0.4 : BMX EHC 0200

Identificación del módulo:

Referencia comercial	: BMX EHC 0200	Designación	: Contador genérico de 2 canales
Dirección	: 0.4	Símbolo	:

Canal 0 :

Función específica de la aplicación	: Modo de contador libre 32 bits
Tarea	: MAST
Evento	: No

Parámetros de configuración :

Mnemónico	Símbolo	Valor	Unidad
Filtro de entrada A		Sin	
Filtro de entrada B		Sin	
Filtro de entrada Sync		Sin	
Filtro de entrada EN		Sin	
Filtro de entrada REF		Sin	
Filtro de entrada CAP		Sin	
Fallo en la alimentación de la entrada		Fallo de E/S general	
Fallo en la alimentación de la salida		Fallo de E/S general	
Interfase de conteo		A = ascendente, B = descendente	
Factor de escalado		1	
Modo de preestablecimiento		Flanco ascendente en SYNC	
Comportamiento de conteo		Bloquear en los límites	
Ajuste de la captura 0		Preestablecer condición	
Bloque salida 0		Des	
Bloque salida 1		Des	
Ancho de pulso 0		10	ms
Ancho de pulso 1		10	ms
Polaridad 0		Polaridad +	
Polaridad 1		Polaridad +	
Recuperación de fallos		Retención desactivada	
Retorno 0		Con	
Retorno 1		Con	
Valor de retorno 0		0	
Valor de retorno 1		0	

Parámetros de ajuste :

Mnemónico	Símbolo	Valor	Unidad
Preestablecer		0	
Histéresis (holgura)		0	

Canal 1 :

Función específica de la aplicación	: Ninguno
-------------------------------------	-----------

Variables e instancias FB

CTU

Nombre	Comentario	Valor	Utilizado	DG
CTU CL1			1	
<entradas>				
CU	Trigger input			
R	Reset			
PV	Preset value			
<salidas>				
Q	Indicator output			
CV	Count value			
CTU CL2			1	
<entradas>				
CU	Trigger input			
R	Reset			
PV	Preset value			
<salidas>				
Q	Indicator output			
CV	Count value			
CTU CSP			1	
<entradas>				
CU	Trigger input			
R	Reset			
PV	Preset value			
<salidas>				
Q	Indicator output			
CV	Count value			

EBOOL

Nombre	Const	Dirección	Comentario	Valor	Utilizado	DG
ABRIR CL1	NO	%M1	PULSADOR POR PANTALLA - ABRIR CL1		1	NO
ABRIR CL2	NO	%M3	PULSADOR POR PANTALLA - ABRIR CL2		1	NO
ABRIR CSP	NO	%M5	PULSADOR POR PANTALLA - ABRIR CSP		1	NO
ABRIR_CSP_MARCA	NO	%M15	MARCA DE ABRIR CSP		2	NO
ALAMRA_DISP_SEPAM	NO	%M42	ALARMA DISPARO SEPAM		3	NO
ALARMA_DISP_MAGNETO	NO	%M40	ALARMA DISPARO MAGNETOTÉRMICO Q1		3	NO
ALARMA_PANTALLA	NO	%M48	ALARMA PROVOCADA POR PANTALLA		1	NO
ALARMA_PUERTA ABIERTA	NO	%M41	ALARMA PUERTA CELDA TRANSFORMACIÓN ABIERTA		2	NO
APERTURA CL1	NO	%Q0.2.0	ORDEN DE APERTURA REMOTA CELDA CL1		2	NO
APERTURA CL2	NO	%Q0.2.3	ORDEN DE APERTURA REMOTA CELDA CL2		2	NO
APERTURA CSP	NO	%Q0.2.4	ORDEN DE APERTURA REMOTA CELDA CSP		2	NO
CERRAR CL1	NO	%M2	PULSADOR POR PANTALLA - CERRAR CL1		1	NO
CERRAR CL2	NO	%M4	PULSADOR POR PANTALLA - CERRAR CL2		1	NO
CERRAR CSP	NO	%M6	PULSADOR POR PANTALLA - CERRAR CSP		1	NO
CIERRE CL1	NO	%Q0.2.1	ORDEN DE CIERRE REMOTO CELDA CL1		2	NO
CIERRE CL2	NO	%Q0.2.2	ORDEN DE CIERRE REMOTO CELDA CL2		2	NO
CIERRE CSP	NO	%Q0.2.5	ORDEN DE CIERRE REMOTO CELDA CSP		2	NO
DISP_MAGNETO_Q1	NO	%I0.1.9	DISPARO MAGNETOTÉRMICO Q1		1	NO
DISP_SEPAM	NO	%I0.1.15	ALARMA PROVINIENTE DEL RELÉ SEPAM		2	NO
DISPARO_BUCHHOLZ	NO	%M60	DISPARO BUCHHOLZ		3	NO
DISPARO_CSP	NO	%M50	DISPARO DEL INTERRUPTOR AUTOMÁTICO		4	NO

Variables e instancias FB

Nombre	Const	Dirección	Comentario	Valor	Utilizado	DG
DISPARO_SOBRE PRESION	NO	%M61	DISPARO SOBREPRESIÓN		3	NO
DISPARO_TEMP	NO	%M62	DISPARO TEMPERATURA		3	NO
E_INT_CL1	NO	%M20	MARCA DE ESTADO INTERRUPTOR-SECCIONADOR CL1		1	NO
E_INT_CL2	NO	%M22	MARCA DE ESTADO INTERRUPTOR-SECCIONADOR CL2		1	NO
E_INT_CSP	NO	%M26	MARCA DE ESTADO INTERRUPTOR AUTOMÁTICO CSP		1	NO
E_MUELLES_CSP	NO	%M27	MARCA DE ESTADO MUELLES DISYUNTOR CSP		0	NO
E_SEC_CSP	NO	%M25	MARCA DE ESTADO SECCIONADOR CSP		1	NO
E_SEC_CSR	NO	%M24	MARCA DE ESTADO SECCIONADOR CSR		1	NO
E_SEC_PAT_CL1	NO	%M21	MARCA DE ESTADO SECCIONADOR PAT CL1		1	NO
E_SEC_PAT_CL2	NO	%M23	MARCA DE ESTADO SECCIONADOR PAT CL2		1	NO
E_SELECTOR	NO	%M28	MARCA DE ESTADO SELECTOR DE MODO DE FUNCIONAMIENTO		0	NO
HAY_ALARMA	NO	%M51	HAY UNA ALARMA		2	NO
INT_CL1	NO	%I0.1.0	ESTADO INTERRUPTOR-SECCIONADOR CELDA CL1		3	NO
INT_CL2	NO	%I0.1.2	ESTADO INTERRUPTOR-SECCIONADOR CELDA CL2		3	NO
INT_CSP	NO	%I0.1.6	ESTADO INTERRUPTOR CELDA CSP		3	NO
MANDO_LOCAL	NO	%M10	MARCA DE ESTADO DEL SELECTOR EN MODO LOCAL		1	NO
MANDO_REMOTO	NO	%M11	MARCA DE ESTADO DEL SELECTOR EN MODO REMOTO		4	NO
MANTENIMIENTO CL1	NO	%M101	MANTENIMIENTO CL1		1	NO
MANTENIMIENTO CL2	NO	%M111	MANTENIMIENTO CL2		1	NO
MANTENIMIENTO CSP	NO	%M121	MANTENIMIENTO CSP		1	NO
MUELLES_CSP	NO	%I0.1.7	ESTADO MUELLES DISYUNTOR CELDA CSP		1	NO
PUERTA_ABIERTA	NO	%I0.1.10	PUERTA ABIERTA DE LA CELDA DE TRANSFORMACIÓN		2	NO
PUL_ALARMA_TEMP	NO	%M43	ALARMA DE TEMPERATURA EXCESIVA EN EL TRAFO		1	NO
PUL_DISP_BUCHHOLZ	NO	%M44	DISPARO POR BUCHHOLZ (GAS)		1	NO
PUL_DISP_SOBREPRESION	NO	%M45	DISPARO POR SOBREPRESIÓN EN EL TRAFO		1	NO
PUL_DISP_TEMP	NO	%M46	DISPARO POR ALTA TEMPERATURA EN EL TRAFO		1	NO
PUL_REARME_ALARMA	NO	%M52	PULSADOR DE REARME DE ALARMAS POR PANTALLA		1	NO
PUL_REARME_DISPARO	NO	%M49	PULSADOR DE REARME DE DISPARO POR PANTALLA		1	NO
RESET_CONT_CL1	NO	%M102	PULSADOR DE RESET POR PANTALLA DEL CONTADOR DE CL1		1	NO
RESET_CONT_CL2	NO	%M112	PULSADOR DE RESET POR PANTALLA DEL CONTADOR DE CL2		1	NO
RESET_CONT_CSP	NO	%M122	PULSADOR DE RESET POR PANTALLA DEL CONTADOR DE CSP		1	NO
SEC_CSP	NO	%I0.1.5	ESTADO SECCIONADOR PAT CELDA CSP		2	NO
SEC_CSR	NO	%I0.1.4	ESTADO SECCIONADOR CELDA CSR		2	NO
SEC_PAT_CL1	NO	%I0.1.1	ESTADO SECCIONADOR PAT CELDA CL1		2	NO
SEC_PAT_CL2	NO	%I0.1.3	ESTADO SECCIONADOR PAT CELDA CL2		2	NO
SEL_LOCAL_REMOTO	NO	%I0.1.8	ESTADO SELECTOR LOCAL/REMOTO		2	NO

Variables e instancias FB

INT

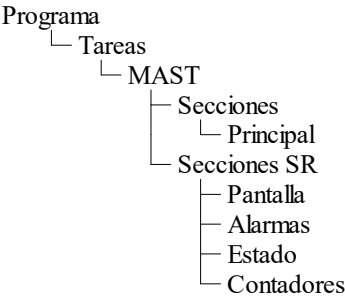
Nombre	Const	Dirección	Comentario	Valor	Utilizado	DG
CONTADOR CL1	NO	%MW100	CONTADOR CL1		1	NO
CONTADOR CL2	NO	%MW110	CONTADOR CL2		1	NO
CONTADOR CSP	NO	%MW120	CONTADOR CSP		1	NO

Estructura de la aplicación

VISTA ESTRUCTURAL

SECCIÓN	CONDICIÓN DE VALIDACIÓN	COMENTARIO DE SECCIÓN	MÓDULO	LENGUAJE
Principal				LD
Pantalla				LD
Alarmas				LD
Estado				LD
Contadores				LD

CALL TREE



Tipo de red: Ethernet

Familia:
Ethernet_Micro_Basic_Embedded_V2

Nombre: TFG_CT_LAB

Comentario:

Red conectada: SÍ

Módulo de dirección: \0.0\0.0.3

Configuración IP

Configuración de dirección IP	Configurado
Dirección IP:	192.168.0.2
Máscara de subred:	255.255.255.0
Dirección de pasarela:	0.0.0.0
Configuración Ethernet	Ethernet II

Mensajes

Configuración de conexión

Control de acceso: Bloquear

SNMP Ethernet

Administradores de dirección IP

Administrador 1 de dirección IP: 0.0.0.0

Administrador 2 de dirección IP: 0.0.0.0

Agente

Localización (SysLocation):

Contacto (SysContact):

Administrador SNMP : Bloquear

Nombres de comunidad	Ajustar:	public
	Obtener:	public
	Captura:	public

Seguridad	Habilitar captura de errores de autenticación :	Bloquear
-----------	---	----------

Ancho de banda

Datos globales Información 0 Datos globales estimados (/s)

Información de mensajes	0	Mensajes estimados (/s)
Entorno Ethernet:	0	

Seguridad

FTP :	deshabilitado
Control de acceso :	deshabilitado

MAST

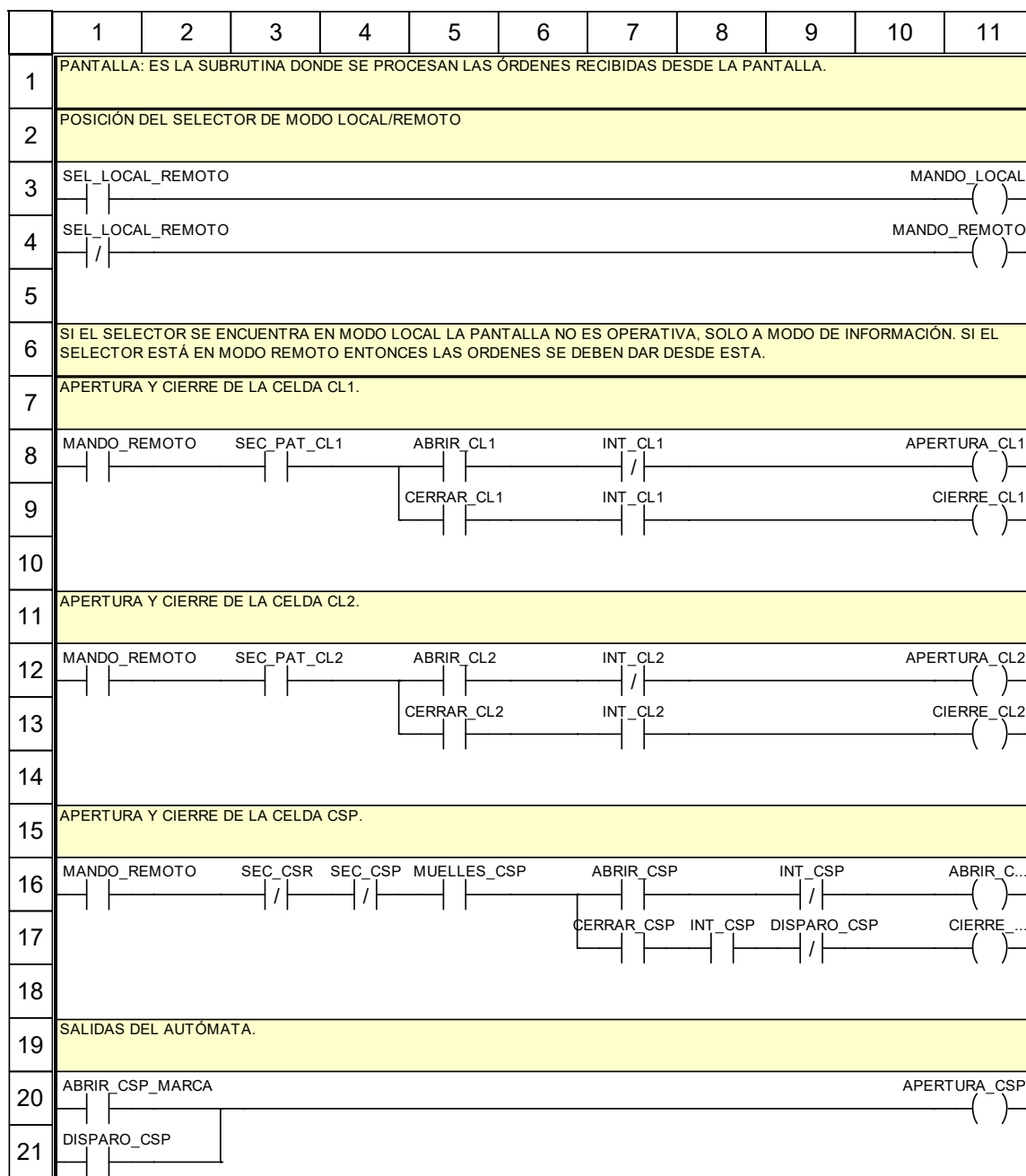
Propiedades específicas

Configuración	Cíclica
Configuración del periodo de tareas	0
Configuración del tiempo de watchdog	250

Principal : [MAST]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	SECCIÓN PRINCIPAL. AQUÍ SOLAMENTE SE ORDENA QUE SE EJECUTEN LAS SECCIONES SECUNDARIAS (SECCIONES SR) O TAMBIÉN LLAMADAS SUBROUTINAS.										
2	Pantalla (C)										
3	Alarmas (C)										
4	Estado (C)										
5	Contadores (C)										

Pantalla <SR> : [MAST]



Etiquetas truncadas:

Etiqueta	Posición(es)
ABRIR CSP MARCA	(11, 16)
CIERRE CSP	(11, 17)

Alarmas <SR> : [MAST]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	ALARMAS: ES LA SECCIÓN DONDE SE RECIBEN Y PROCESAN LAS DISTINTAS ALARMAS PRODUCIDAS EN EL CT.										
2	PULSADOR POR PANTALLA DE RESET DE ALARMAS UNA VEZ YA NO EXISTAN.										
3	<div> <div>PUL_REARME_ALARMA</div> <div>HAY_ALARMA</div> <div>(R)</div> </div>										
4	<div> <div></div> <div>ALARMA_DISP_MAGNETO</div> <div>(R)</div> </div>										
5	<div> <div></div> <div>ALARMA_PUERTA_ABIERTA</div> <div>(R)</div> </div>										
6	<div> <div></div> <div>ALAMRA_DISP_SEPAM</div> <div>(R)</div> </div>										
7											
8	SEÑALES DE DISPAROS EXTERIORES AL CT.										
9	<div> <div>DISP_MAGNETO_Q1</div> <div>ALARMA_DISP_MAGNETO</div> <div>(S)</div> </div>										
10	<div> <div>PUERTA_ABIERTA</div> <div>ALARMA_PUERTA_ABIERTA</div> <div>(S)</div> </div>										
11	<div> <div>DISP_SEPAM</div> <div>ALAMRA_DISP_SEPAM</div> <div>(S)</div> </div>										
12											
13	PULSADOR POR PANTALLA DE RESET DE LAS SEÑALES DE DISPAROS UNA VEZ YA NO EXISTAN INCIDENCIAS.										
14	<div> <div>PUL_REARME_DISPARO</div> <div>DISPARO_CSP</div> <div>(R)</div> </div>										
15	<div> <div></div> <div>DISPARO_BUCHHOLZ</div> <div>(R)</div> </div>										
16	<div> <div></div> <div>DISPARO_SOBREPRESION</div> <div>(R)</div> </div>										
17	<div> <div></div> <div>DISPARO_TEMP</div> <div>(R)</div> </div>										
18											
19	SEÑALES DE DISPARO DE LAS PROTECCIONES PROPIAS DEL TRAF0. EN ESTE CASO SON SIMULADAS MEDIANTE PULSADORES POR PANTALLA PORQUÉ AL NO SER UN CT REAL NUNCA SE DARÁN LAS CONDICIONES PARA QUE SE PRODUZCAN DISPAROS DE ESTOS TIPOS										
20	<div> <div>PUL_DISP_BUCHHOLZ</div> <div>DISPARO_BUCHHOLZ</div> <div>(S)</div> </div>										
21	<div> <div>PUL_DISP_SOBREPRESION</div> <div>DISPARO_SOBREPRESION</div> <div>(S)</div> </div>										
22	<div> <div>PUL_DISP_TEMP</div> <div>DISPARO_TEMP</div> <div>(S)</div> </div>										
23											
24	SET DE LA MARCA DE DISPARO.										
25	<div> <div>DISPARO_BUCHHOLZ</div> <div>DISPARO_CSP</div> <div>(S)</div> </div>										
26	<div> <div>DISPARO_SOBREPRESION</div> <div></div> </div>										
27	<div> <div>DISPARO_TEMP</div> <div></div> </div>										

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
28	PUERTA_ABIERTA										
29	DISP_SEPAM										
30											
31	SET DE LA MARCA DE ALARMA.										
32	ALARMA_DISP_MAGNETO										HAY_ALARMA (S)
33	PUL_ALARMA_TEMP										
34	ALARMA_PANTALLA										
35	ALAMRA_DISP_SEPAM										

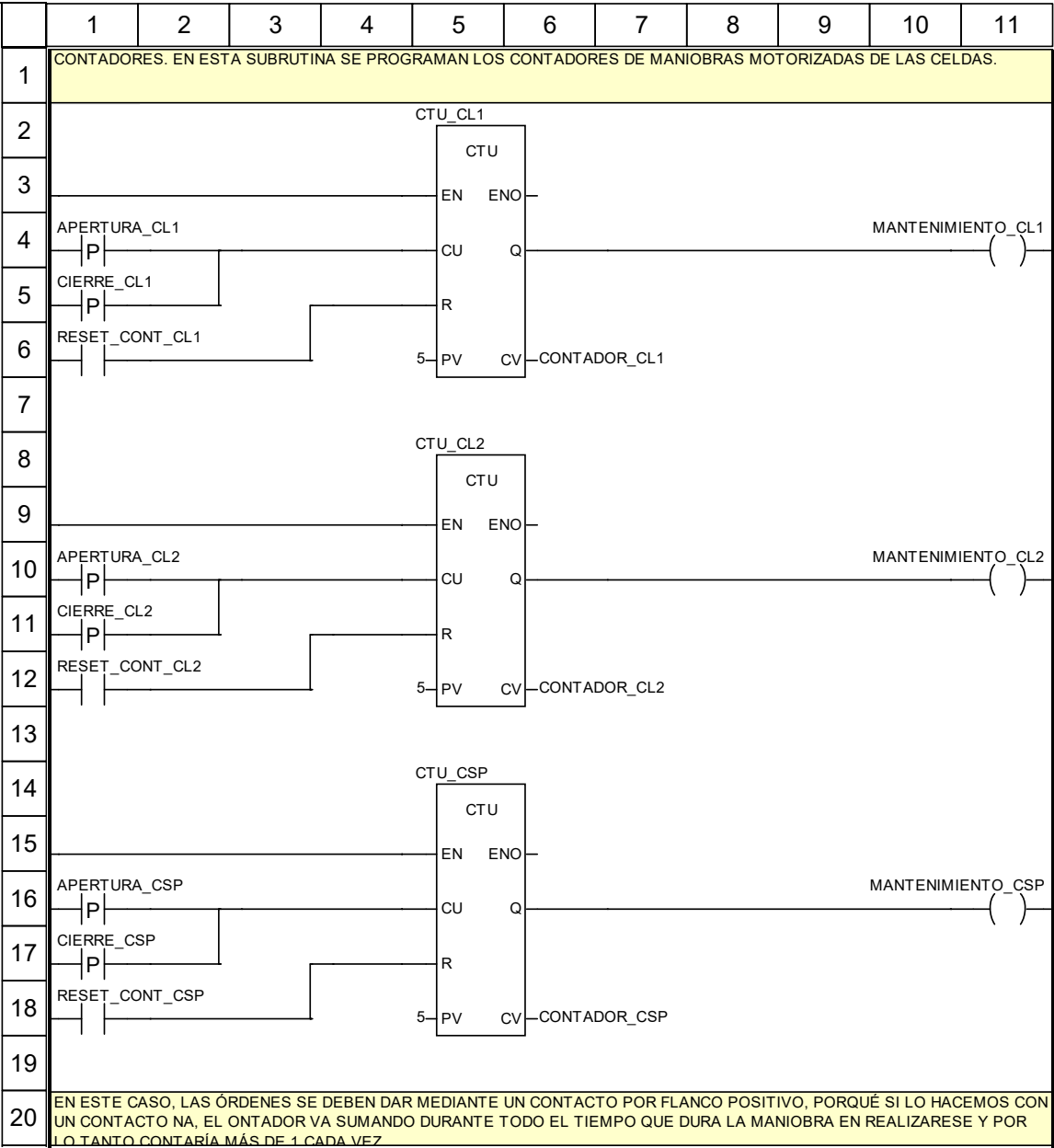
Estado <SR> : [MAST]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	ESTADO: EN ESTA SUBROUTINA SE RECIBE LA INFORMACIÓN DEL ESTADO DE LOS INTERRUPTORES Y SECCIONADORES DE LAS DISTINTAS CELDAS DEL CT PARA PODER PROCESAR LA INFORMACIÓN Y PODER ENVIARSELA A LA PANTALLA TÁCTIL.										
2	INT_CL1										E_INT_C...
3	SEC_PAT_CL1										E_SEC_PAT_CL1
4	INT_CL2										E_INT_C...
5	SEC_PAT_CL2										E_SEC_PAT_CL2
6	SEC_CSR										E_SEC_CSR
7	SEC_CSP										E_SEC_CSP
8	INT_CSP										E_INT_C...

Etiquetas truncadas:

Etiqueta	Posición(es)
E INT CL1	(11, 2)
E INT CL2	(11, 4)
E INT CSP	(11, 8)

Contadores <SR> : [MAST]



Referencias cruzadas

Aplicación:

Direcciones

Objeto	Referenciado dentro	Etiqueta	Uso
%M0	Canal (0.0.2) CANopenBM Expert		L/E
%M32	Canal (0.0.2) CANopenBM Expert		L/E
%MW0	Canal (0.0.2) CANopenBM Expert		L/E
%MW32	Canal (0.0.2) CANopenBM Expert		L/E

Variables o instancias FB

Objeto	Referenciado dentro	Etiqueta	Uso
ABRIR_CL1	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 8, c: 5)	L
ABRIR_CL2	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 12, c: 5)	L
ABRIR_CSP	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 16, c: 7)	L
ABRIR_CSP_MARCA	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 16, c: 11)	E
		(I: 20, c: 1)	L
ALAMRA_DISP_SEPAM	Alarmas <SR> : [MAST]	(I: 11, c: 11)	E
		(I: 6, c: 11)	E
		(I: 35, c: 1)	L
ALARMA_DISP_MAGNETO	Alarmas <SR> : [MAST]	(I: 9, c: 11)	E
		(I: 4, c: 11)	E
		(I: 32, c: 1)	L
ALARMA_PANTALLA	Alarmas <SR> : [MAST]	(I: 34, c: 1)	L
ALARMA_PUERTA_ABIERTA	Alarmas <SR> : [MAST]	(I: 10, c: 11)	E
		(I: 5, c: 11)	E
APERTURA_CL1	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 8, c: 11)	E
	Contadores <SR> : [MAST]	(I: 4, c: 1)	L
APERTURA_CL2	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 12, c: 11)	E
	Contadores <SR> : [MAST]	(I: 10, c: 1)	L
APERTURA_CSP	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 20, c: 11)	E
	Contadores <SR> : [MAST]	(I: 16, c: 1)	L
CERRAR_CL1	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 9, c: 5)	L
CERRAR_CL2	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 13, c: 5)	L
CERRAR_CSP	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 17, c: 7)	L
CIERRE_CL1	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 9, c: 11)	E
	Contadores <SR> : [MAST]	(I: 5, c: 1)	L
CIERRE_CL2	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 13, c: 11)	E
	Contadores <SR> : [MAST]	(I: 11, c: 1)	L
CIERRE_CSP	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 17, c: 11)	E
	Contadores <SR> : [MAST]	(I: 17, c: 1)	L
CONTADOR_CL1	Contadores <SR> : [MAST]	(I: 2, c: 5)	E
CONTADOR_CL2	Contadores <SR> : [MAST]	(I: 8, c: 5)	E
CONTADOR_CSP	Contadores <SR> : [MAST]	(I: 14, c: 5)	E
CTU_CL1	Contadores <SR> : [MAST]	(I: 2, c: 5)	LLAM F
CTU_CL2	Contadores <SR> : [MAST]	(I: 8, c: 5)	LLAM F
CTU_CSP	Contadores <SR> : [MAST]	(I: 14, c: 5)	LLAM F
DISPARO_BUCHHOLZ	Alarmas <SR> : [MAST]	(I: 20, c: 11)	E
		(I: 25, c: 1)	L
		(I: 15, c: 11)	E
DISPARO_CSP	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 21, c: 1)	L
		(I: 17, c: 9)	L
	Alarmas <SR> : [MAST]	(I: 25, c: 11)	E
		(I: 14, c: 11)	E
DISPARO_SOBREPRESION	Alarmas <SR> : [MAST]	(I: 21, c: 11)	E
		(I: 26, c: 1)	L
		(I: 16, c: 11)	E
DISPARO_TEMP	Alarmas <SR> : [MAST]	(I: 22, c: 11)	E

Referencias cruzadas

Objeto	Referenciado dentro	Etiqueta	Uso
		(I: 27, c: 1)	L
		(I: 17, c: 11)	E
DISP MAGNETO Q1	Alarmas <SR> : [MAST]	(I: 9, c: 1)	L
DISP_SEPAM	Alarmas <SR> : [MAST]	(I: 11, c: 1)	L
		(I: 29, c: 1)	L
E_INT_CL1	Estado <SR> : [MAST]	(I: 2, c: 11)	E
E_INT_CL2	Estado <SR> : [MAST]	(I: 4, c: 11)	E
E_INT_CSP	Estado <SR> : [MAST]	(I: 8, c: 11)	E
E_SEC_CSP	Estado <SR> : [MAST]	(I: 7, c: 11)	E
E_SEC_CSR	Estado <SR> : [MAST]	(I: 6, c: 11)	E
E_SEC_PAT_CL1	Estado <SR> : [MAST]	(I: 3, c: 11)	E
E_SEC_PAT_CL2	Estado <SR> : [MAST]	(I: 5, c: 11)	E
HAY ALARMA	Alarmas <SR> : [MAST]	(I: 32, c: 11)	E
		(I: 3, c: 11)	E
INT_CL1	Estado <SR> : [MAST]	(I: 2, c: 1)	L
	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 9, c: 7)	L
		(I: 8, c: 7)	L
INT_CL2	Estado <SR> : [MAST]	(I: 4, c: 1)	L
	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 13, c: 7)	L
		(I: 12, c: 7)	L
INT_CSP	Estado <SR> : [MAST]	(I: 8, c: 1)	L
	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 16, c: 9)	L
		(I: 17, c: 8)	L
MANDO_LOCAL	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 3, c: 11)	E
MANDO_REMOTE	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 4, c: 11)	E
		(I: 8, c: 1)	L
		(I: 12, c: 1)	L
		(I: 16, c: 1)	L
MANTENIMIENTO_CL1	Contadores <SR> : [MAST]	(I: 4, c: 11)	E
MANTENIMIENTO_CL2	Contadores <SR> : [MAST]	(I: 10, c: 11)	E
MANTENIMIENTO_CSP	Contadores <SR> : [MAST]	(I: 16, c: 11)	E
MUELLES_CSP	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 16, c: 5)	L
PUERTA_ABIERTA	Alarmas <SR> : [MAST]	(I: 10, c: 1)	L
		(I: 28, c: 1)	L
PUL_ALARMA_TEMP	Alarmas <SR> : [MAST]	(I: 33, c: 1)	L
PUL_DISP_BUCHHOLZ	Alarmas <SR> : [MAST]	(I: 20, c: 1)	L
PUL_DISP_SOBREPRESION	Alarmas <SR> : [MAST]	(I: 21, c: 1)	L
PUL_DISP_TEMP	Alarmas <SR> : [MAST]	(I: 22, c: 1)	L
PUL_REARME_ALARMA	Alarmas <SR> : [MAST]	(I: 3, c: 1)	L
PUL_REARME_DISPARO	Alarmas <SR> : [MAST]	(I: 14, c: 1)	L
RESET_CONT_CL1	Contadores <SR> : [MAST]	(I: 6, c: 1)	L
RESET_CONT_CL2	Contadores <SR> : [MAST]	(I: 12, c: 1)	L
RESET_CONT_CSP	Contadores <SR> : [MAST]	(I: 18, c: 1)	L
SEC_CSP	Estado <SR> : [MAST]	(I: 7, c: 1)	L
	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 16, c: 4)	L
SEC_CSR	Estado <SR> : [MAST]	(I: 6, c: 1)	L
	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 16, c: 3)	L
SEC_PAT_CL1	Estado <SR> : [MAST]	(I: 3, c: 1)	L
	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 8, c: 3)	L
SEC_PAT_CL2	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 12, c: 3)	L
	Estado <SR> : [MAST]	(I: 5, c: 1)	L
SEL_LOCAL_REMOTE	Pantalla <SR> : [MAST]	(I: 4, c: 1)	L
		(I: 3, c: 1)	L

Subrutinas

Objeto	Referenciado dentro	Etiqueta	Uso
Alarmas	Principal : [MAST]	(I: 3, c: 11)	LLAM F
Contadores	Principal : [MAST]	(I: 5, c: 11)	LLAM F

Referencias cruzadas

Objeto	Referenciado dentro	Etiqueta	Uso
Estado	Principal : [MAST]	(l: 4, c: 11)	LLAM F
Pantalla	Principal : [MAST]	(l: 2, c: 11)	LLAM F

